



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y**  
**TELECOMUNICACIONES**

**Estudio y desarrollo de un prototipo de estación de carga nivel L2 para  
vehículos eléctricos**

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero en  
Electrónica y telecomunicaciones

**Autores:**

Walter Ramiro Astudillo Astudillo  
C.I: 0105356810  
Dario Xavier Caguana Buele  
C.I: 0104498134

**Director:**

Ing. Luis Gerardo González Morales, Ph.D.  
C.I: 1729711059

Cuenca – Ecuador  
2018

## Resumen

Este trabajo comprende el estudio y desarrollo de un prototipo de una estación de carga nivel L2. Estas estaciones son importantes debido a que son el tipo más común empleadas en la actualidad en domicilios, garajes, edificios y lugares públicos. Estas estaciones deben ser fácilmente operables por los usuarios y deben ofrecer las medidas de seguridad adecuadas.

Para el desarrollo de una estación de carga es necesario conocer las normas y estándares que son utilizadas por las diferentes compañías fabricantes de vehículos eléctricos, además es necesario conocer sobre programación de microcontroladores, electrónica digital y analógica ya que la estación de carga trabaja con niveles elevados de potencia.

El prototipo desarrollado tiene unas dimensiones de 300x250x120 mm, gracias a este reducido tamaño puede ser implementado en estaciones domésticas de uso personal, así como en estaciones públicas, ubicadas a lo largo de una ciudad. La estación de carga es capaz de manejar teóricamente un nivel máximo de potencia de 6.6 KW, sin embargo, después de varias pruebas a potencia nominal, el sistema eléctrico entregó un máximo de 5.3 KW. La estación de carga cuenta con algunas características adicionales como un *display*, un teclado para su operación, conexión a internet que le permite al usuario operar la estación a distancia, así como recibir algunos parámetros desde la estación en un dispositivo móvil.

**Palabras claves:** ELECTROLINERA, VEHÍCULO ELÉCTRICO, ESTÁNDAR SAE J1772, CARGA LENTA.

## Abstract

This work presents the study and development of a prototype of a charging station level L2. These stations are the most common type currently used in homes, garages, buildings and public places. These stations must be easily operated by users and must offer adequate security measures.

For the development of a charging station it is necessary to know the norms and standards that are used by the different electric vehicle manufacturers, it is also necessary to know about programming of microcontrollers, digital and analog electronics since the charging station works with high levels of power.

The prototype developed has dimensions of 300x250x120 mm, thanks to this small size can be implemented in domestic stations for personal use, as well as public stations, located throughout a city. The charging station is able to theoretically handle a maximum power level of 6.6 KW, however, after several tests at rated power, the electrical system delivered a maximum of 5.3 KW. The charging station has some additional features such as a display, a keyboard for its operation, an internet connection that allows the user to operate the station remotely, as well as receiving some parameters from the station on a mobile device.

**Keywords:** ELECTROLYCER, ELECTRICAL VEHICLE, STANDARD SAE J1772, SLOW LOAD.



# Índice General

Resumen .....	2
Abstract .....	3
Índice de Figuras .....	9
Índice de Tablas .....	12
Dedicatorias.....	18
Agradecimientos.....	20
Abreviaciones y Acrónimos .....	22
Introducción .....	24
Descripción del problema .....	25
Objetivos.....	26
Objetivo General .....	26
Objetivos Específicos .....	26
Capítulo 1 Introducción y estudio de la tecnología de los vehículos eléctricos .....	27
1.1 Vehículo eléctrico .....	27
1.2 Historia .....	27
1.3 Actualidad .....	29
1.4 Tipos de vehículos eléctricos .....	30
1.5 Funcionamiento del VE .....	32
1.5.1 Baterías.....	32
1.5.2 Cargador a bordo (On-Board Charger) .....	33
1.5.3 Propulsión eléctrica.....	34
1.5.4 Motor eléctrico.....	35
1.5.5 Funcionamiento conjunto del VE .....	36
1.6 Estaciones de carga.....	37
1.6.1 Niveles de carga .....	38
1.6.2 Modos de carga .....	40
1.7 Estándares en carga lenta de tipo 1, 2 y 3 .....	41
1.7.1 Comparación, similitudes y diferencias de operación entre los tipos de conector .....	43
1.8 Estudio de distintas ubicaciones en la ciudad .....	44

Capítulo 2	Análisis de los diferentes esquemas de las estaciones de carga.....	47
2.1	Estándares para las estaciones de carga .....	47
2.1.1	Dimensiones .....	47
2.1.2	Protección contra el choque eléctrico .....	48
2.1.3	Grados de protección.....	48
2.2	Esquema del funcionamiento de la estación, estándar SAE J1772 .....	49
2.3	Sensores .....	50
2.3.1	Sensores de Tensión .....	50
2.3.2	Sensores de Corriente .....	51
2.4	Señal de Comunicación entre la estación y el Vehículo Eléctrico. ....	53
2.4.1	Conector SAE j1772.....	53
2.4.2	Señal de comunicación .....	54
2.4.3	Puerto proximidad .....	56
2.5	Actuadores .....	57
2.5.1	Relés.....	57
2.6	Controlador.....	59
2.7	Programación .....	61
Capítulo 3	Implementación de la estación de carga .....	64
3.1	Estudio de circuitos de la estación de carga .....	64
3.1.1	Circuito fuente de alimentación eléctrica.....	64
3.1.2	Circuito de acondicionamiento de señal de piloto .....	66
3.1.3	Circuito de sensores. ....	68
3.1.4	Circuitos de manejo de indicadores de estados.....	70
3.1.5	Circuito de accionamiento de energía .....	72
3.1.6	Elementos de integración con el medio IoT para la estación de carga .....	72
3.2	Simulaciones.....	74
3.3	Diseño de la placa impresa .....	76
3.4	Montaje de la placa PBC .....	77
Capítulo 4	Pruebas de funcionamiento de la estación de carga .....	82
4.1	Pruebas de funcionamiento de la estación de carga.....	82
4.1.1	Prueba de funcionamiento: Circuito para la señal de piloto .....	85
4.1.2	Prueba de funcionamiento: Circuito de sensores.....	87



4.1.3 Prueba de funcionamiento: Relés .....	89
4.2 Pruebas de la estación de carga .....	89
4.2.1 Pruebas de corta duración .....	90
4.2.2 Pruebas de mediana duración .....	92
4.2.3 Pruebas de larga duración .....	98
Capítulo 5 Diseño del sistema de comunicación (IoT).....	104
5.1 Historia y actualidad .....	104
5.2 IoT uniendo diferentes redes.....	104
5.3 Los desafíos que enfrenta IoT.....	105
5.3.1 El protocolo IPv6 .....	105
5.3.2 Energía para los dispositivos .....	106
5.3.3 Normas .....	106
5.4 IoT de la energía .....	106
5.5 Conectando la estación de carga a internet .....	107
5.6 Medios de acceso .....	108
5.6.1 Métodos Alámbricos.....	108
5.6.2 Métodos inalámbricos .....	109
5.6.3 Seleccionando la tecnología inalámbrica .....	109
5.7 El módulo ESP 8266-01 .....	111
5.7.1 Los comandos AT .....	112
5.8 Desarrollo de la página web .....	113
Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones .....	116
6.1 Conclusiones.....	116
6.2 Recomendaciones.....	117
ANEXOS.....	118
A. Especificaciones técnicas del Sensor de corriente .....	118
B. Especificaciones técnicas del Convertidor CC/CC.....	119
C. Especificaciones técnicas del Amplificador operacional .....	120
D. Especificaciones técnicas del Sensor de Tensión .....	121
E. Especificaciones técnicas del Relé .....	122
F. Especificaciones técnicas del PIC 18F4550 .....	123
G. Estándar para vehículos eléctricos.....	124



H. Características técnicas de la estación de carga.....	125
--	-----



# Índice de Figuras

Figura 1. Primer automóvil eléctrico en superar los 100 km/h. ....	27
Figura 2. Detroit Electric Car, uno de los primeros automóviles eléctricos en ser producidos en masa. ....	28
Figura 3. VE modelo tesla S 100 D año 2017. ....	29
Figura 4. Características de los tipos de vehículos eléctricos. ....	31
Figura 5. Diagrama de bloques del cargador a bordo de un VE. ....	34
Figura 6. Diagrama de bloques del sistema de propulsión para el VE. ....	35
Figura 7. Flujo de energía en el motor de un VE. ....	37
Figura 8. Estación de carga o electrolinera marca joinon. ....	38
Figura 9. Diferentes modos de carga o niveles de comunicación. ....	40
Figura 10. Conector tipo 3 GB/T 20234.2. ....	43
Figura 11. Diagrama de bloques de la estación de carga, estándar SAE J1772. ....	49
Figura 12. Esquemático MID400. ....	51
Figura 13. Circuito equivalente del sensor CR8400. ....	52
Figura 14. Circuito de Señalización J1772 [22]. ....	54
Figura 15. Variación del ciclo de trabajo de una señal PWM. ....	56
Figura 16. Partes de un relé simple. ....	57
Figura 17. Estados de un relé simple. ....	58
Figura 18. Símbolo eléctrico de Relé T92P7D22-12. ....	59
Figura 19. Diagrama de bloques del controlador. ....	60
Figura 20. Microcontrolador 18F4550. ....	61
Figura 21. Diagrama de flujo del funcionamiento de la estación. ....	62
Figura 22. Diagrama de bloques de los estados de la estación de carga. ....	63
Figura 23. Diagrama de terminales del regulador de voltaje LM 78XX. ....	65
Figura 24. Circuitos para fuentes de alimentación de 12 V, 5 V y 3.3 V. ....	65
Figura 25. Diagrama de pines del convertidor. ....	66
Figura 26. Circuito de acondicionamiento de señal de PWM. ....	67
Figura 27. Circuito para la comunicación de la señal piloto. ....	67
Figura 28. Sensor de corriente, pulso lógico. ....	68
Figura 29. Sensor de corriente, muestreo de la corriente alterna. ....	69
Figura 30. Sensor de Tensión MID400. ....	70
Figura 31. Circuito para indicadores de estado tipo LEDs. ....	71
Figura 32. Circuito interfaz de pulsadores. ....	71
Figura 33. Circuito para la conexión de un transistor a un relé. ....	72
Figura 34. Modulo del integrado DS1307. ....	73
Figura 35. Circuito de la conexión del módulo integrado DS1307. ....	73
Figura 36. Señales PWM de la comunicación del piloto. ....	75
Figura 37. Niveles de voltaje en la señal PWM. ....	75
Figura 38. Señal del sensor de corriente. ....	76
Figura 39. Esquema eléctrico de la estación de carga nivel L2 para vehículos eléctricos. ....	78
Figura 40. Component Side y Bottom Layer del circuito impreso. ....	79

Figura 41. Aspecto final del circuito impreso. ....	79
Figura 42. Aspecto final de la placa PBC. ....	80
Figura 43. Aspecto final del circuito impreso. ....	80
Figura 44. Aspecto final de la estación de carga con todos sus componentes. ....	81
Figura 45. Vehículo eléctrico Kia Soul EV 2016. ....	82
Figura 46. Analizador de calidad eléctrica de marca Fluke 435 Serie III. ....	83
Figura 47. Sonda de corriente modelo TCPA300 marca tektronix. ....	83
Figura 48. Osciloscopio modelo TDS 1002B marca Tektronix. ....	84
Figura 49. Multímetro digital. ....	84
Figura 50. Señal de piloto transición entre los estados A, B y C. ....	85
Figura 51. Estado B del piloto. ....	86
Figura 52. Estado C del piloto. ....	86
Figura 53. Señal de salida de uno de los sensores MID 400. ....	87
Figura 54. Señal obtenida en el sensor de corriente. ....	88
Figura 55. Señal que ingresa al microcontrolador. ....	88
Figura 56. Activación del Relé permitiendo el paso de corriente al vehículo. ....	89
Figura 57. Señal de piloto cuando la carga comienza. ....	90
Figura 58. Señal de piloto cuando la carga se termina. ....	91
Figura 59. Flujo de corriente en función de los botones Start/Stop. ....	91
Figura 60. Corriente que fluye hacia el EV con un ciclo de trabajo de 20 %. ....	92
Figura 61. Corriente que fluye hacia el EV con un ciclo de trabajo de 30 %. ....	93
Figura 62. Corriente que fluye hacia el EV con un ciclo de trabajo de 40 %. ....	93
Figura 63. Corriente que fluye hacia el EV con un ciclo de trabajo de 50 %. ....	94
Figura 64. Corriente que fluye hacia el EV con un ciclo de trabajo de 60 %. ....	94
Figura 65. Resultados obtenidos en las pruebas de mediana duración. ....	95
Figura 66. Energía entregada por la estación para cada ciclo de trabajo. ....	97
Figura 67. Tiempo estimado de carga en base a la potencia calculada para cada ciclo. ....	98
Figura 68. Tensión de las líneas L1 Y L2 durante la prueba de larga duración. ....	99
Figura 69. Tensión de fase L1, L2 durante la prueba de larga duración. ....	99
Figura 70. Corriente de las líneas L1 y L2 durante la prueba de larga duración. ....	100
Figura 71. Potencia activa durante la prueba de larga duración. ....	100
Figura 72. Energía Activa, Reactiva y Aparente. ....	101
Figura 73. Distorsión Armónica de voltaje. ....	102
Figura 74. Distorsión Armónica de corriente. ....	102
Figura 75. Amplitud de los primeros 17 armónicos. ....	103
Figura 76. Crecimiento de los dispositivos conectados a internet y número de habitantes del planeta. ....	104
Figura 77. Esquema de IoT. ....	105
Figura 78. IoT en las ciudades. ....	107
Figura 79. Esquema de conexión de la estación. ....	107
Figura 80. Métodos alámbricos para acceso a internet. ....	108
Figura 81. Métodos inalámbricos de acceso a internet. ....	109
Figura 82. Módulos Wi-Fi de la línea ESP. ....	110
Figura 83. Chip Wi-Fi ESP8266. ....	110
Figura 84. Módulo ESP 8266-01. ....	111



Figura 85. Esquema de comunicación entre la estación y el usuario. ....	113
Figura 86. Conexiones entrantes de un servidor.....	114
Figura 87. Página web para control de la estación. ....	115

## Índice de Tablas

Tabla 1. Conector tipo 1 [12]. .....	42
Tabla 2. Conector tipo 2 [12]. .....	42
Tabla 3. Comparación entre los diferentes tipos de conectores para la carga de VE.....	44
Tabla 4. Tipos de configuraciones. ....	48
Tabla 5. Estados de comunicación entre la estación de carga y el vehículo eléctrico.....	54
Tabla 6. Valores de corriente alterna según el ciclo de servicio del estándar SAE J1772 [24]. ....	55
Tabla 7. Estados del puerto de proximidad. ....	57
Tabla 8. Especificaciones de la bobina del Relé T92P7D22-12. ....	59
Tabla 9. Niveles de voltaje para distintos circuitos de la estación de carga .....	65
Tabla 10. Conexiones de pines para el componente D107E Series.....	66
Tabla 11. Datos de las pruebas de mediana duración. ....	95
Tabla 12. Comparación entre corriente medida y calculada por el microcontrolador. ....	96
Tabla 13. Potencia instantánea por cada ciclo de trabajo. ....	96
Tabla 14. Tiempo estimado de carga completa por ciclo de trabajo. ....	97
Tabla 15. Datos promedio del analizador de calidad eléctrica.....	103
Tabla 16. Lista de comandos AT principales .....	112

## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Walter Ramiro Astudillo Astudillo autor del trabajo de titulación "ESTUDIO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE CARGA NIVEL L2 PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS" certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor

Cuenca, 07 de Mayo de 2018



Walter Ramiro Astudillo Astudillo

C.I: 010535681-0

### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Dario Xavier Caguana Buele autor del trabajo de titulación "ESTUDIO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE CARGA NIVEL L2 PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS" certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor

Cuenca, 07 de Mayo de 2018



Dario Xavier Caguana Buele

C.I: 010449813-4

### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Walter Ramiro Astudillo Astudillo en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "ESTUDIO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE CARGA NIVEL L2 PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 07 de Mayo de 2018



Walter Ramiro Astudillo Astudillo

C.I: 010535681-0

### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Dario Xavier Caguana Buele en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "ESTUDIO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE CARGA NIVEL L2 PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 07 de Mayo de 2018



Dario Xavier Caguana Buele

C.I: 010449813-4



**CERTIFICO**

Que el presente proyecto de tesis: "ESTUDIO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE CARGA NIVEL L2 PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS" fue dirigido por mi persona



Ing. Luis Gerardo González Morales, Ph.D

C.I: 1729711059

## Dedicatorias

A Dios por darme salud y fuerzas en salir adelante en todo momento, por haberme dado la vida y permitir el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación académica.

A mis padres Ramiro y Ligia quienes han sido un apoyo incondicional que sin su ayuda nada de esto sería posible, y mis hermanos Catalina, Eduardo y Byron que siempre confiaron en mí en todo momento.

A mi sobrino Eduardo Josué, quien fue mi compañero en las tardes de estudio...

Para, Ana Cristina con todo el cariño del mundo.

Walter Ramiro Astudillo Astudillo

## Dedicatorias

Como siempre dedicarle este trabajo a mi padre Dios porque todo esto ha sido posible únicamente debido a su bendición.

A mis padres quienes han sido quienes han guiado mi camino toda mi vida y aun lo hacen; quienes han hecho sacrificios para que yo pueda cumplir una meta más en mi vida y llegar a ser un profesional, fueron ustedes quienes me enseñaron que toda meta es alcanzable si te lo propones.

A toda mi familia, en especial a mis hermanos y mis sobrinos quienes nunca dudaron de mi capacidad y en los que siempre pude encontrar apoyo.

Finalmente, a todas las personas que a lo largo de estos años me brindaron su amistad.

Dario Xavier Caguana Buele

## Agradecimientos

Ingeniero Luis González, PhD. Quien, con sus conocimientos y espíritu de maestro, me supo dirigir de la forma más apropiada en el desarrollo de este presente trabajo.

A la Universidad de Cuenca y todos los profesores que fueron parte de mi preparación universitaria.

A todos mis compañeros de aula, amigos, quienes fueron como una familia a lo largo de esta vida universitaria, y a toda la promoción Egresados Electrónica y Telecomunicaciones 2017 les deseo lo mejor del mundo.

A una excelente persona un gran amigo, un hermano, amigo de batalla, Darío Caguana, gracias por tu AMISTAD, Dios te bendiga en todo momento.

Al tecnólogo Francisco Sánchez, un gran amigo, quien supo brindar su amistad, apoyo, experiencia en todo momento a lo largo de este presente trabajo.

A mis padres, hermanos por darme un aventón cuando sentía que no podía más, un empujón cuando sentía que no lo lograría y por ser una columna en mi vida cuando de nervios caía. Gracias.

A mi amiga en todo momento, Ana Cristina López, por estar a mi lado y darme ánimos en salir adelante, a toda su familia por brindarme todo el aprecio del mundo. Gracias.

Walter Ramiro Astudillo Astudillo

## Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Dios porque siempre ha sido bueno conmigo y me ha permitido completar mi formación universitaria de la mejor manera, y porque siempre ha puesto en mi camino a las personas adecuadas.

Agradecerle a mi Madre quien siempre ha estado a mi lado apoyándome, dándome fuerza y ánimos para seguir en los momentos difíciles, con quien siempre he podido contar y quien me ha demostrado todo su amor incondicional.

A todos los profesores de la Universidad de Cuenca en especial al director de mi tesis, Ingeniero Luis Gonzalez por que ha sido parte fundamental de este trabajo de titulación aportando su conocimiento, su experiencia y su cordialidad. Sin duda fue el mejor profesor que un estudiante puede pedir.

A mi compañero de tesis y gran amigo Walter Astudillo por este trabajo en conjunto; quien ha sido como un hermano todos estos años de universidad y sobre todo en este proyecto, gracias a su aporte hemos podido llevarlo a cabo con éxito.

A mi gran amigo Francisco Sánchez quien, a pesar de no haber sido mi profesor me ha brindado sus enseñanzas y sobre todo su amistad.

Finalmente, a todos esos amigos que no me alcanzaría el tiempo para nombrarlos, quienes han formado parte de mi instrucción y siempre me han apoyado cuando más los necesite.

Dario Xavier Caguana Buele

## Abreviaciones y Acrónimos

<b>VEH</b>	Vehículos híbridos
<b>VEHE</b>	Vehículos híbridos enchufables
<b>VE</b>	Vehículos eléctricos puros
<b>Km</b>	Kilómetros
<b>OBC</b>	Cargador a bordo, por sus siglas en inglés.
<b>PFC</b>	Corrección del factor de potencia
<b>RFI</b>	Radio frequency interference
<b>CC</b>	Corriente Continua
<b>CA</b>	Corriente Alterna
<b>L1</b>	Representación de nivel 1 de la red eléctrica, monofásico
<b>L2</b>	Representación de nivel 2 de la red eléctrica, bifásico
<b>L3</b>	Representación de nivel 3 de la red eléctrica, trifásico
<b>N</b>	Neutro
<b>PMSM</b>	Motor síncrono de imanes permanentes
<b>V</b>	Voltios
<b>A</b>	Amperios
<b>KW</b>	Kilo Watts
<b>°C</b>	Temperatura en grados centígrados
<b>Wi-Fi</b>	Wireless Fidelity
<b>EVSE</b>	Equipo de suministro de vehículos eléctricos, por sus siglas en inglés
<b>PWM</b>	Modulación por ancho de pulsos, por sus siglas en inglés
<b>Hz</b>	Hercio, unidad de medida
<b>GND</b>	Ground, conexión a tierra en electrónica
<b>Ohm</b>	Unidad de resistencia eléctrica
<b>NC</b>	Normalmente Cerrados
<b>NA</b>	Normalmente Abierto



<b>PBC</b>	Placa de circuito impreso, por sus siglas en inglés
<b>VA</b>	Voltiamperio
<b>LED</b>	Diodo emisor de luz, por sus siglas en inglés
<b>CC/CC</b>	Convertidor de corriente continua a continua
<b>RMS</b>	Root mean square
<b>RTC</b>	Real Time Clock
<b>IoT</b>	Internet of things
<b>WPA</b>	Wired Protected Access
<b>TKIP</b>	Temporal Key Integrity Protocol
<b>IoT</b>	Internet de las cosas, por sus siglas en inglés
<b>SOC</b>	Estado de carga, por sus siglas en inglés

## Introducción

En los últimos años el vehículo eléctrico ha ido ganando popularidad entre los usuarios a nivel mundial. Los fabricantes tradicionales de autos como Ford, Volkswagen, Chevrolet y nuevas empresas como Tesla registran millones de ventas de vehículos eléctricos alrededor del mundo anualmente, por ejemplo, en Estados Unidos, en los primeros 4 meses de 2017 se matricularon 54.000 de estos vehículos [1], este hecho muestra la gran aceptación que están teniendo los VE en el mercado. Existen varios factores que explican el crecimiento de la demanda por los VE, entre los más destacables están el aumento en la autonomía de las baterías de Ion-litio, debido a nuevas tecnologías [2], el creciente número de marcas y modelos disponibles en los mercados, y además los incentivos que ciertos gobiernos ofrecen para impulsar la comercialización y el uso de estos vehículos.

Los vehículos son parte importante en la vida cotidiana de las personas, tanto en el transporte personal como colectivo. En la actualidad la mayoría de estos vehículos usan como combustible gasolina o diésel, los cuales son derivados del petróleo. Estos combustibles al ser quemados producen gases de efecto invernadero, uno de los grandes culpables del cambio climático a nivel mundial. Los vehículos eléctricos por el contrario no producen estos gases ya que no utilizan combustible fósil durante su funcionamiento, es decir, utilizan energía eléctrica que está almacenada en un banco de baterías, convirtiéndolos como una opción para reducir el problema de contaminación medioambiental.

Otro aspecto que mencionar es que el petróleo es un recurso no renovable y dentro de unas cuantas décadas empezará a escasear lo cual elevará su precio a niveles exorbitantes. La energía eléctrica puede ser producida por diferentes métodos como generadoras hidroeléctricas, generadoras eólicas y a través de paneles solares, es decir, que la electricidad puede ser considerada como un recurso renovable y que gracias a los avances en tecnología de energía solar prácticamente inagotable.

Los VE se clasifican por el método que utilizan para recargar sus baterías, existen tres tipos de vehículos: híbridos, híbridos enchufables y eléctricos puros. Para el desarrollo y la implementación de la estación de carga “electrolinera” objeto a estudiar se hace énfasis en este último tipo de vehículo.



## Descripción del problema

Uno de los principales retos que el vehículo eléctrico debe afrontar en sus primeras incursiones es la autonomía de sus baterías. Las estaciones de carga actuales, aun las de mayor capacidad, emplean un tiempo estimado de recarga de 30 minutos (carga rápida), esto quiere decir que, si usamos el sistema actual de gasolineras, es decir unas cuantas decenas ubicadas en la periferia para abastecer a toda una ciudad nos enfrentamos con un sistema inviable. En su lugar se propone cientos de estaciones de menor potencia distribuidas por toda la ciudad incluyendo zonas céntricas como: estacionamientos, centros comerciales, parqueaderos, hospitales, universidades, parques, hogares y zonas clave de la ciudad.

El trabajo realizado trata sobre el diseño, simulación y construcción de una estación de carga nivel L2, totalmente funcional que cumpla con los estándares de VE y que además su costo de fabricación sea reducido en comparación a estaciones similares disponibles en los mercados. La estación construida será comparada con una estación disponible en el mercado, en aspectos como eficiencia energética, tiempo de carga y funcionamiento.

# Objetivos

## Objetivo General

Desarrollar un prototipo de estación de carga lenta nivel L2 para vehículos eléctricos.

## Objetivos Específicos

1. Realizar un estudio comparativo de esquemas de estaciones de carga lenta para vehículos eléctricos.
2. Simular los componentes y circuitos que forman parte de una estación de Carga L2.
3. Implementar la estación de carga nivel L2.
4. Conectar la estación de carga a internet para que se accesible desde cualquier lugar.

# Capítulo 1

## Introducción y estudio de la tecnología de los vehículos eléctricos

### 1.1 Vehículo eléctrico

El vehículo eléctrico (VE por sus siglas) es aquel que es impulsado por una o varias máquinas eléctricas cuyo suministro de energía proviene de un banco de baterías que se recargan mediante una fuente externa.

### 1.2 Historia

El VE no es un invento de las últimas décadas, su origen se remonta al inicio del siglo XIX en donde compitió con su contraparte de combustión interna, viéndose relegado por éste por razones de rendimiento. Durante el siglo XX el automóvil con motor de combustión interna fue el dominante y se adueñó del mercado automovilístico. [1]

La historia del VE se remota a Bélgica, al año 1859, en donde Gastón Plante diseñaba las primeras baterías de plomo-acido, 22 años después en 1881 en Francia, Charles Jeantud construyó el que posiblemente es el primer VE impulsado por un banco de baterías llamado el “Tilbury”, aunque se consumió en llamas unos pocos metros después en su primer recorrido; este hecho no detuvo los esfuerzos para seguir construyendo autos eléctricos y precisamente en 1899, Camille Jenatzy batió el récord de velocidad en tierra, alcanzado los 105 kilómetros por hora en su VE descapotable llamado “La Jamáis Contente”. (Figura 1)



Figura 1. Primer automóvil eléctrico en superar los 100 km/h.  
Fuente: [55], Fotografía adoptada por los autores.

Todo esto llamó la atención de las grandes empresas automovilísticas, entre estas las empresas americanas que comenzaron a producir vehículos impulsados por electricidad como el famoso *Detroit Electric car* (Figura 2). Este proyecto contó con el apoyo de grandes inversionistas como: Thomas Edison considerado como el padre de la electricidad e increíblemente, Henry Ford, quienes apostaban por el futuro del VE. [1]

Las apariciones de nuevas tecnologías le auguraban un gran futuro al proyecto, por ejemplo, Edison incorporó las baterías de níquel-hierro, y afirmaba que los vehículos podían alcanzar hasta 130 kilómetros por hora, aunque la velocidad máxima registrada no superaba los 32 kilómetros por hora, una velocidad aceptable para aquella época.

A pesar de la evolución que mostraba el VE, este fue relegado ante el auge del motor de combustión interna debido principalmente al abaratamiento de la gasolina, además de factores como la velocidad, durabilidad y potencia que eran superiores en este tipo motor, la suma de todos estos causantes terminó por enterrar prematuramente al VE a finales de los años 50.



Figura 2. Detroit Electric Car, uno de los primeros automóviles eléctricos en ser producidos en masa.

Fuente: [56], Fotografía adoptada por los autores.

*“Sin embargo, factores como el desarrollo del motor de combustión, la aparición de la cadena de montaje con el Ford modelo T, y la irrupción del petróleo barato dieron predominancia al vehículo de gasolina.” (Estévez, 2011).*

### 1.3 Actualidad

En la última década la sociedad ha visto, como los gobiernos y fabricantes de vehículos pugnan por colocar al VE como la nueva opción de movilidad a nivel mundial. Las grandes compañías automovilísticas cada año lanzan al mercado varios modelos de VEs con mayor autonomía; por su parte los gobiernos lanzan campañas e incentivos para que los usuarios cambien la arraigada cultura de los automóviles a gasolina por los VEs. Finalmente es el propio ciudadano, el cual al ser testigo del cambio climático a nivel mundial y de los problemas de salud, especialmente relacionados con las vías respiratorias, quien clama por alternativas en transporte y movilidad más amigables con el ambiente. La Figura 3 muestra un vehículo totalmente eléctrico de la marca Tesla, modelo 2017, este vehículo puede alcanzar los 100 Km/h en 2.5 segundos y es amigable con el medio ambiente.



Figura 3. VE modelo tesla S 100 D año 2017.

Fuente: [57], Fotografía adoptada por los autores.

A pesar de este ambiente favorable para la introducción del VE, aún existen muchas dudas acerca de su viabilidad; la autonomía de las baterías y los inexistentes puntos de recarga son los principales retos por superar. En cuanto a las baterías los fabricantes de éstas, anuncian avances y nuevas tecnologías que garantizan autonomías superiores a los 400 kilómetros. En la actualidad la compañía Tesla ofrece a la venta el Tesla Model S 100D 2017 (Figura 3), cuya autonomía es de 634 Km. En cuanto a la infraestructura de recarga, el esfuerzo en este caso depende de los gobiernos locales los cuales deben hacer estudios y determinar los mejores lugares para las estaciones de carga (“electrolineras”) dentro de sus áreas de interés.

Además de producir cero emisiones de CO<sub>2</sub>, durante su recorrido los VE poseen ventajas adicionales sobre su contraparte a gasolina.

- El motor eléctrico de un VE posee un par máximo instantáneo, esto quiere decir que poseen una gran aceleración. Por ejemplo: el Tesla Model S puede acelerar de 0 a 100 Km/h (hecho cohete 100 Km/s) en 2.5 segundos.

- Un motor eléctrico no emite ruido en su funcionamiento, por lo que conducir un VE es una experiencia relativamente pacífica y tranquila.
- No es necesario una caja de transmisión manual, ya que el motor eléctrico se acelera a medida que se le indica el sistema de control, lo único necesario es un mecanismo que le indique marcha hacia atrás.
- La eficiencia de los VE está sobre el 90 %, un rendimiento tres veces superior si lo comparamos con el 30 % de los vehículos convencionales.

De igual manera los VE también presentan desventajas en gran parte por ser una tecnología que apenas está incursionando en el mundo de automovilismo.

- La potencia de los VE es limitada, esto implica automóviles pequeños y livianos y de velocidades inferiores a las de los automóviles a gasolina.
- Las baterías tienen una vida útil no superior a los 7 años y reemplazar estas baterías representa un costo elevado.
- El VE aún genera contaminación en su fabricación, y en algunos países la electricidad se produce con métodos contaminantes (nuclear, termoeléctrica).
- Si un VE sufre de alguna descompostura, los talleres disponibles para su reparación son muy pocos y en algunas ciudades inexistentes.

## **1.4 Tipos de vehículos eléctricos**

Los VE de acuerdo con la forma en que sus baterías pueden ser cargadas se dividen en:

- 1.- Vehículos híbridos.
- 2.- Vehículos híbridos enchufables.
- 3.- Vehículos totalmente eléctricos.

La clasificación se visualiza en la Figura 4, además se enumera algunas de sus principales características.



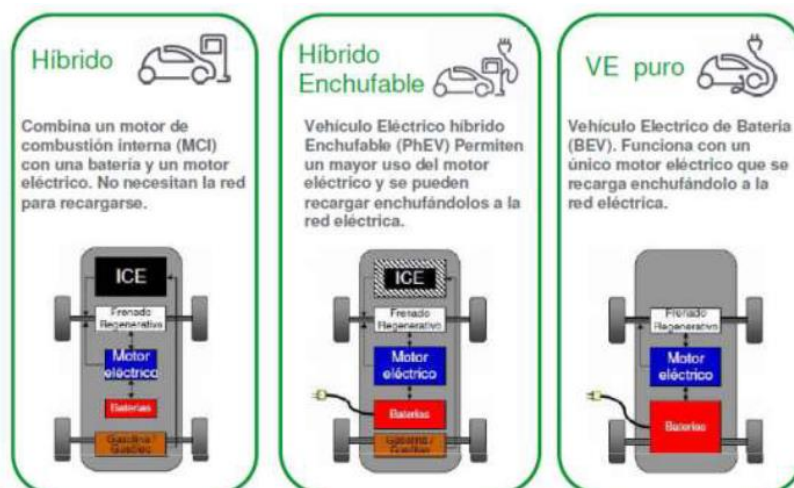


Figura 4. Características de los tipos de vehículos eléctricos.

Fuente: [57], Esquema adoptado por los autores.

- **Vehículos híbridos (VEH)**

Los vehículos híbridos son aquellos que poseen dos métodos de propulsión, en su mayoría combinan motores de combustión interna y motores eléctricos. Estos automóviles no cuentan con la opción de usar una fuente externa para recargar las baterías. La energía generada por el motor de combustión interna es usada para recargar las baterías, además integran la tecnología de freno regenerativo. [3]

- **Vehículos híbridos enchufables (VEHE)**

Los vehículos híbridos enchufables son una variante de los automóviles híbridos, cuentan de igual forma con dos tipos de motores de combustión interna y eléctrico, además usan las mismas formas para recargar las baterías, pero adicionalmente cuentan con la posibilidad de conectarse a una línea eléctrica ya sea de 110 V o 220 V para recargar sus baterías de manera mucho más rápida. [3]

- **Vehículos eléctricos puros (VE)**

Los vehículos eléctricos puros se caracterizan por tener únicamente un sistema de propulsión de naturaleza eléctrica, por ende, dependen casi totalmente de su conexión con la línea eléctrica para recargar energía en sus baterías, pero además pueden integrar la tecnología de freno regenerativo como en los tipos anteriormente nombrados. [3]

## 1.5 Funcionamiento del VE

El funcionamiento de un VE depende de varios bloques: el almacenamiento de energía en las baterías, la propulsión eléctrica encargada de tomar la energía de las baterías, y finalmente el motor eléctrico que es el encargado de convertir la energía eléctrica en energía mecánica. [3]

### 1.5.1 Baterías

Las baterías del VE almacenan energía mediante procesos electroquímicos, cuya eficiencia es cercana al 100 % debido a las minúsculas pérdidas que ocurren en el proceso de carga y descarga. Uno de los principales inconvenientes de las baterías es su número finito de ciclos de carga y descarga, conocido como ciclo de vida. Los vehículos eléctricos son propulsados gracias a la obtención de energía eléctrica a partir de reacciones químicas que se producen en un conjunto de baterías. Estas baterías suelen ser de materiales o combinaciones de materiales como Ion Litio (Li-ion) que actualmente son las más utilizadas, aunque también existen baterías de plomo ácido (Pb-Acid), otras que se basan en el Níquel (Ni), además de otras baterías menos conocidas como Zinc-Bromino (Zn-Br) y baterías de alta temperatura como las de sodio-Sulfuro (Na-S). [4]

Para tener una idea del desempeño y rendimiento de una batería existen cuatro parámetros que deben tomarse en cuenta.

- Densidad energética: [W/kg]. Es la energía que puede suministrar la batería por cada kg de peso en su sistema de almacenamiento.
- Potencia: [W/kg]. Es la capacidad de proporcionar potencia (amperaje máximo) en el proceso de descarga.
- Eficiencia: Es el rendimiento de la batería, la energía que realmente aprovecha. Medido en %.
- Coste: Es la mayor influencia en el precio total del vehículo.
- Ciclo de vida: Ciclos completos de carga y descarga que soporta la batería antes de ser sustituida.

En general se necesitan un gran número de baterías para generar la potencia suficiente para mover un VE y otorgarle una autonomía considerable. Por estas razones las baterías suelen ocupar un espacio importante dentro del vehículo y representan un peso importante del mismo. [4]



### 1.5.2 Cargador a bordo (On-Board Charger)

La batería es la encargada de suministrar energía a todos los sistemas en un VE, por lo que es necesario disponer de un sistema que permita al vehículo recargar energía. El cargador a bordo debe tener la capacidad de adaptarse para funcionar bajo distintas condiciones, teniendo en cuenta que cada país posee estándares particulares de voltaje, frecuencia y corriente. Los diseñadores de sistemas se enfrentan al reto de soportar niveles variados de voltaje y corriente a la vez que aumentan la densidad de potencia. Los factores clave de éxito de la carga a bordo son: la eficiencia y la alta densidad de potencia para un factor de forma pequeño.

La tendencia a largo plazo se está moviendo hacia la bi-direccionalidad, donde el cargador a bordo cuenta con la posibilidad de aportar la energía del automóvil a la red inteligente.

El On-Board Charger (OBC por sus siglas en inglés) tiene definidas tareas muy específicas.

- Convertir la corriente de 50/60Hz a CC.
- Ajustar la tensión de CC a los niveles requeridos por la batería.
- Proporcionar aislamiento galvánico.
- Corrección del factor de potencia (PFC).
- Control del motor para evitar daños por arcos causados por desenchufar en caliente.

En la Figura se muestra los bloques que conforman un OBC, se puede distinguir dos partes, el bloque de potencia en parte superior de la Figura, (bloques a, b, c, d,) y el bloque de control en la parte inferior de la Figura (bloque f). [5]

El bloque **a** representa la entrada de la red eléctrica, esta entrada puede ser de una fase, de dos fases o tres fases. El bloque **b** es un filtro RFI (*radio frequency interference*), este filtro puede ser operado por el controlador dependiendo de las necesidades del sistema. El bloque **c** se encarga de corregir el factor de potencia, garantizando la eficiencia del cargador manteniendo la potencia reactiva al mínimo. Para terminar la parte de potencia tenemos el bloque **d** que es un convertidor CC que encargado de adecuar la tensión al nivel requerido para las baterías.

En la parte de control, bloque **f**, se tienen sensores a la entrada de la batería para comprobar el nivel de tensión y corriente que circulan a las baterías. También se tienen indicadores y controladores que permiten una mejor administración del OBC. Finalmente, el bloque **e** de administración de batería, tiene como función permitir o interrumpir la circulación de la corriente hacia la batería, todos los bloques de control, así como algunos de potencia están conectados a un controlador.

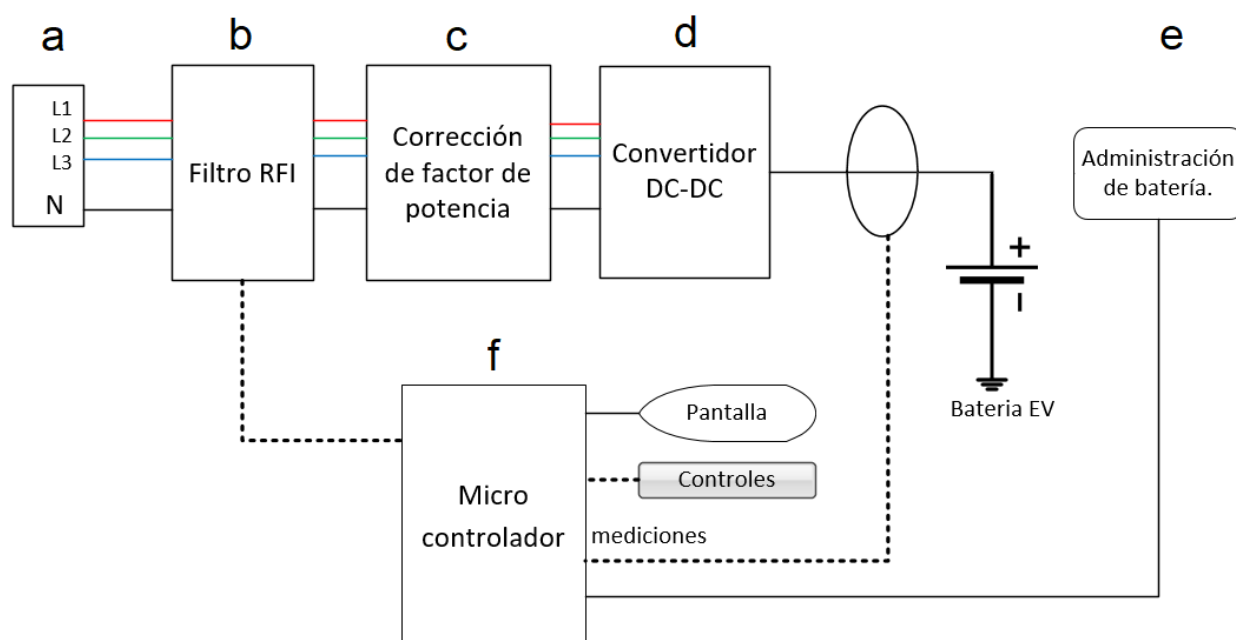


Figura 5. Diagrama de bloques del cargador a bordo de un VE.

Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

Los cargadores inalámbricos están obteniendo una gran popularidad en la industria automotriz y se espera que tengan al menos un 95 % de eficiencia en la electrónica de carga con respecto a la carga con cable. La alineación de las bobinas tanto de transmisión como de recepción juega un papel importante en la mejora de la eficiencia y el rendimiento de este tipo de cargadores. [5]

### 1.5.3 Propulsión eléctrica

La propulsión eléctrica es el punto intermedio entre las baterías y las llantas del automóvil, es la encargada de tomar la energía almacenada y convertirla en energía rotacional para mover el vehículo. Este proceso debe realizarse de manera eficiente y debe estar siempre supervisada por un dispositivo de control en su parte de potencia.

Un sistema de propulsión consta de 2 partes:

- 1- La parte mecánica.
- 2- La parte eléctrica.

La parte mecánica es similar a la de los vehículos de combustión interna, consta de partes como la transmisión y las ruedas. Por otro lado, la parte eléctrica está conformada por el motor eléctrico, el convertidor de potencia y sus controladores. Existe un límite

entre ambas en donde la parte eléctrica da paso a la parte mecánica, ésta es precisamente el núcleo del motor en donde la conversión electromecánica ocurre.

La Figura 6 muestra el diagrama de bloques de un sistema de propulsión de un VE, donde las flechas delgadas de color azul son señales de control, y las flechas gruesas de color rojo representan flujos de gran potencia. El convertidor de potencia recibe las señales de control y la lectura de los sensores asociados al sistema, que es el encargado de tomar la energía y enviarla al motor de acuerdo al algoritmo de control que éste utilice. Como podemos apreciar el flujo de potencia entre el motor y el convertidor de potencia puede ser bidireccional, esto debido a la existencia de regímenes donde puede ser aprovechada la energía cinética del auto, como el caso del llamado freno regenerativo donde es recuperada la energía en las frenadas del VE. Por último, el motor está conectado a las ruedas por un sistema de transmisión similar a los de los vehículos tradicionales. [6]

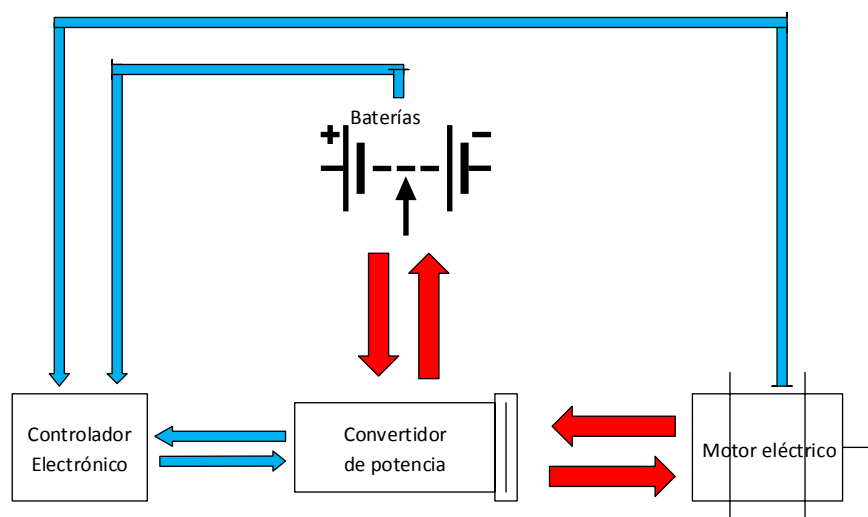


Figura 6. Diagrama de bloques del sistema de propulsión para el VE.

Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

### 1.5.4 Motor eléctrico

Los motores eléctricos han estado presentes desde hace décadas, pero su evolución tecnológica no se ha caracterizado por ser expedita. En las últimas décadas, gracias al avance en materiales magnéticos se han dado la transición de las tradicionales maquinas asíncronas y síncronas de rotor bobinado a los imanes permanentes, logrando cada vez motores que son capaces de manejar mayor potencia. Los imanes permanentes tienen relación directa con la vida útil del motor, por lo que su elevado precio inicial es un inconveniente. En los últimos años se ha descubierto que materiales como Neodimio, Acero, Boro, Samario y Cobalto pueden ser utilizados como alternativos a la ferrita, debido en parte a sus propiedades magnéticas (alta inducción magnética, alta fuerza electromagnética) y su bajo costo. Estos nuevos imanes prometen ser de alta densidad y gran eficiencia. [6]

Recientemente los motores CC se han visto relegados por los motores CA, debido a que los avances tecnológicos de estos últimos les otorgan ventajas ante sus competidores en ámbitos como eficiencia, bajo costo, potencia, confiabilidad y libres de mantenimiento, y es, precisamente esta última característica la que los vuelve tan atractivos. [6]

Los motores eléctricos pueden clasificarse en 2 grandes grupos los de corriente continua (motores CC) y los motores de corriente alterna (motores CA), pero en el caso de motores para vehículos eléctricos podemos hablar de 4 tipos:

1. Motor Asíncrono de inducción (CA): Se le llama asíncrono debido a que el rotor no va a la misma velocidad que el campo magnético producido por el estator. Este motor es de bajo costo por lo que es ampliamente utilizado en las industrias, ofrece características como bajo ruido y pocas vibraciones, pero sobre todo una alta eficiencia.
2. Motor síncrono de imanes permanentes (PMSM): Su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red que está alimentado al motor. Son fáciles de controlar, son de volumen y peso reducidos. Puede ser utilizado con flujo radial o flujo axial. Si se los usa en modo axial puede ser integrado directamente en las ruedas del VE.
3. Motor síncrono de reluctancia conmutada o variable (CA): Motores de costo reducido, un alto par de torsión, son muy robustos, no poseen escobillas o imanes permanentes. En este tipo de motores la corriente es conmutada por bobinas que son las que crean un campo magnético giratorio.
4. Motor sin escobillas de imanes permanentes (CC): Funcionan empleando imanes permanentes localizados en el rotor que son alimentados secuencialmente por el estator, tienen un costo elevado y su potencia es reducida, pero son muy robustos, no generan ruido y no necesitan mantenimiento. Éstos son los más utilizados en vehículos eléctricos.

### **1.5.5 Funcionamiento conjunto del VE**

La energía que se encuentra almacenada en las baterías fluye hacia el motor eléctrico, el cual es el responsable de la propulsión del vehículo. En el motor existen dos tipos de campo magnéticos unos estáticos y otros giratorios, los campos giratorios son repelidos y atraídos constantemente por los campos estáticos y, esta rotación es la que produce el movimiento en las ruedas, por lo tanto, el movimiento del VE. Además, se aprovecha la energía que se genera al frenar el VE y mediante el uso del freno regenerativo se recargan las baterías, es por esta razón que en los vehículos eléctricos se obtiene una eficiencia superior a un 90 % en comparación a los vehículos de combustión interna.

En la Figura 7, se muestra el proceso que realiza un VE desde la toma de CA de la red eléctrica para convertirla en CC y pasarla a las baterías hasta la activación del motor eléctrico que se encarga en convertir la energía eléctrica en mecánica. [7]

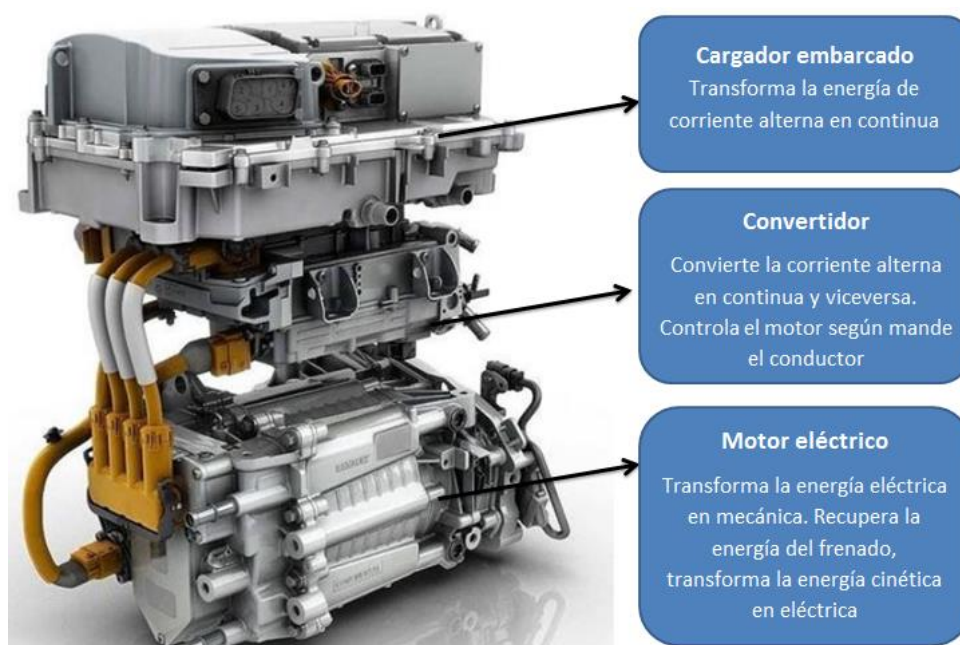


Figura 7. Flujo de energía en el motor de un VE.  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

## 1.6 Estaciones de carga

Las estaciones de carga para los vehículos eléctricos, también conocidas como electrolineras, tienen la misma función que una estación de gasolina, éstas sirven para suministrar energía a los vehículos.

Las estaciones de carga eléctricas deben cumplir 2 requisitos importantes:

- Accesibles.
- Fácil operación.

En cuanto a la accesibilidad, para desplegar estaciones de carga en una determinada ciudad se requieren determinar puntos clave. Estos puntos deben ser concurridos por usuarios de VE. Estos lugares pueden ser, parqueaderos, centros comerciales, parques etc. La operación de la estación de carga es realmente sencilla se limita a pulsar un botón de inicio para cargar el VE y un botón de alto para detener la carga del VE. [8]

En nuestro país la mayoría de hogares, ubicados dentro de las zonas urbanas y sus alrededores, cuenta con acceso a una conexión de 220 V sin grandes modificaciones en los hogares ni en la red eléctrica, por lo cual se pueden instalar puntos de carga en los

hogares sin mayores inconvenientes. La Figura 8, muestra una estación de carga (“electrolinera”) que se puede instalar tanto en hogares como en lugares públicos para brindar el servicio de recarga de baterías para vehículos eléctricos. [8]



Figura 8. Estación de carga o electrolinera marca joinon.  
Fuente: [59], Fotografía adoptada por los autores.

### 1.6.1 Niveles de carga

Los niveles de carga están definidos en el estándar internacional para sistemas de carga de vehículo VEs conductivos IEC 61851-1 [9]. Los niveles de carga establecen las configuraciones en las que se puede cargar una batería del VE en relación con el voltaje y la corriente que emplea cada uno de estos, es decir están relacionados con la potencia que la estación puede suministrar a las baterías del VE.

- **Carga Súper Lenta**

Este tipo de carga usa una potencia de 1.2 KW, se pueden usar conexiones eléctricas de 110 V. El tiempo estimado que toma en recargar las baterías de un VE promedio de 24 KWh de capacidad es de doce horas. Estas estaciones son utilizadas por motos o cuadriciclos eléctricos cuyas baterías son de una capacidad menor a las de un VE. [9]

- **Carga lenta**

Este tipo de carga es la más utilizada por los fabricantes ya que se puede instalar en hogares, lugares públicos y privados. Trabaja con corriente alterna monofásica o bifásica de hasta 240 V a una potencia máxima de 6.6 KW, la cual promete ciclos de carga para un VE promedio de entre cuatro a cinco horas para vehículos con baterías de 27 KW. [9]

- **Carga Semi-rápida**

Este tipo de carga solo es aceptable para algunos vehículos, ya que trabaja con corriente alterna trifásica y su tiempo estimado de carga para un vehículo promedio es de tres a cuatro horas con una potencia de recarga que esta entre 6 KW a 11KW siendo carga lenta o semi-rápida respectivamente. [9]

- **Carga Rápida**

Este tipo de carga es muy utilizada por los fabricantes de vehículos, ya que pueden llegar a recargar las baterías en un tiempo de diez a treinta minutos, todo depende del tipo de cargador y la potencia adquirida por el vehículo. La potencia que demanda este tipo de carga está entre 43-150 KW. [9]

Este tipo de carga tiene como uso en lugares públicos o en carreteras que interconectan ciudades ya que se necesita un tiempo mínimo para recargar las baterías y continuar con el viaje. [9]

- **Carga súper rápida**

Este tipo de carga se encuentra en forma experimental en los VEs, su uso está enfocado en autobuses ya que la potencia de demanda es muy elevada y su tiempo estimado de recarga va desde los cinco a diez minutos en carga completa de sus baterías. Las baterías de iones de litio no soportan las altas temperaturas que llegarían a tener si se usa este tipo de carga pues su uso excesivo llegaría a deteriorar gravemente su vida útil. [9]

## **Tipos de conectores**

La normativa EN62196-2:2012 define en la primera página las características técnicas para la carga de los tipos de conectores siendo lo siguiente:

- Conector tipo 1, la tensión de carga asignada es de 250V en CA y una intensidad de 32 A en monofásico.
- Conector tipo 2, la tensión e intensidad asignada son las siguientes:
  - 250 V y 13 A, o 20 A, o 32 A, o 63 A o 70 A en monofásico.
  - 380-480 V y 13 A, o 20 A, o 32 A, o 63 A en trifásico.
- Conector tipo 3, la tensión e intensidad asignada son las siguientes:
  - 250 V y 16 A o 32 A en monofásico.
  - 380-480 V y 32 A o 63 A en trifásico.



## 1.6.2 Modos de carga

Los modos de carga hacen referencia a la capacidad de comunicación que existe entre el VE y la red eléctrica (a través de la estación de carga). En función del modo de comunicación, la estación tendrá la capacidad de: controlar el proceso de carga iniciar, detener, temporizar, medir el nivel de carga, y en además usar el automóvil como una fuente para inyectar energía a la red eléctrica. [14] [17]

La norma IEC61851-24 define los 4 modos de carga para vehículos eléctricos (véase la Figura 9) y se detallan a continuación: [10] [17]

- **Modo 1:** En este modo la comunicación entre VE y estación no existe, lo único que se tiene es un conector convencional que se utiliza para iniciar y terminar el proceso de carga.
- **Modo 2:** En este modo se considera que el nivel de comunicación es bajo, debido a que, a pesar de integrar una comunicación de piloto, ésta solo sirve para verificar el estado de la conexión del VE. Se puede seguir usando un conector convencional.
- **Modo 3:** El nivel de comunicación en este modo se considera elevado, la estación usa una señal de piloto que le permite intercambiar información con el VE como: el estado de conexión del vehículo, el nivel de corriente que puede brindar la estación, inclusive cuando se produce un error en la carga se notifica. La estación además integra sistemas de protección y control para la carga.
- **Modo 4:** Este modo se considera un sistema de comunicación elevado, existe un convertidor de energía de corriente alterna a corriente continua, por ende, solo se aplica a estaciones de recarga rápida.

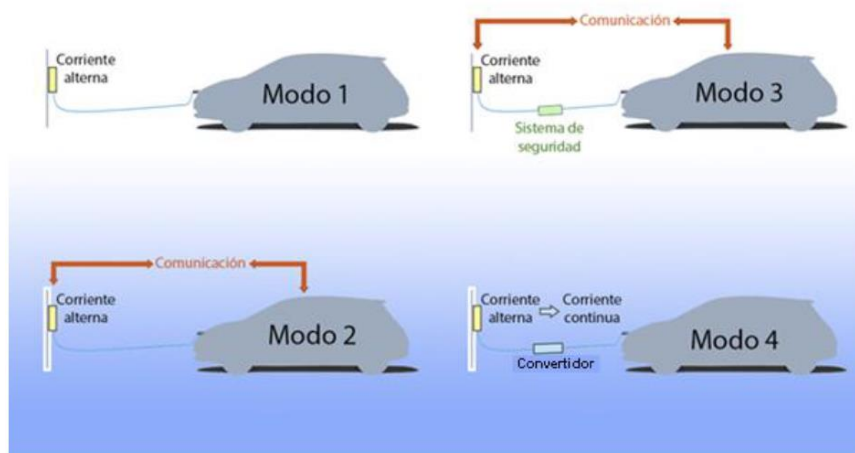


Figura 9. Diferentes modos de carga o niveles de comunicación.

Fuente: [10], Esquema adoptado por los autores.



## 1.7 Estándares en carga lenta de tipo 1, 2 y 3

Los tipos de conectores que utilizan los VEs tienen diferentes diseños según el vehículo y la marca, algunos vehículos inclusive poseen 2 tipos de conectores. Estos conectores son diseñados para soportar grandes flujos de corriente durante su uso y además brindan seguridad al vehículo y al usuario. [11]

En la actualidad no se ha optado por un conector único como estándar a nivel mundial, lo que se tiene más bien son diferentes tipos de estándar para diferentes partes del mundo. En América, por ejemplo, se usa el estándar SAE J1772 mientras que en Europa se utiliza el estándar tipo 2 VDE-AR-E 2623-2-2 IEC 62196-2 conocido comúnmente como Mennekes. [11] [12]

- **Tipo 1 SAE j1772-2009 IEC 62196-2**

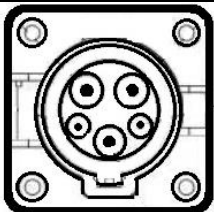
El conector SAE J1772 o tipo 1 se lo conoce también con el nombre de Yazaki, es un estándar norteamericano y japonés específico para vehículos eléctricos, este modelo soporta conexiones de 120 o 240 V monofásica y puede suministrar hasta 16.8 KW de potencia.

Este estándar se basa en el modo 3 de carga ya que le permite al VE conectarse a una red eléctrica de baja tensión y una toma de corriente específica con un circuito específico.

Las características principales de este conector son:

- Su diámetro es de 43 mm.
- Tiene 5 terminales, 2 terminales de corriente, 1 terminal de tierra, dos terminales de comunicación
- Bloqueo y desbloqueo por medio de palanca.
- Nivel 1: Hasta 16 A, para carga lenta.
- Nivel 2: Hasta 80 A, para carga rápida.

Tabla 1. Conector tipo 1 [12].

Conector	No de pines	Tensión Máxima(V)	Corriente Máxima (A)	Normativa
	5 (L1, L2, N, PE, PP )	250 VCA Monofásica	32 A monofásica (hasta 7.2 KW)	IEC 62196-2 TIPO 1

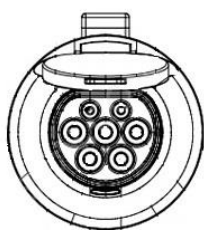
- Tipo 2 VDE-AR-E 2623-2-2 IEC 62196-2**

Este tipo de conector es un diseño mejorado por una compañía alemana que la dio a conocer con el nombre Mennekes, este tipo brinda acceso a redes monofásica o trifásica con tensión de entre 100 y 500 V y puede suministrar hasta 43.5 KW de potencia. Además, este estándar es un conector alemán de tipo industrial, VDE-AR-E 2623-2-2.

Las características principales de este conector son:

- Su diámetro es de 55 mm.
- Tiene siete terminales, cuatro destinadas para corriente trifásica, una para tierra y los dos restantes para comunicación.
- Bloqueo y desbloqueo por medio de palanca.
- Monofásico (16 A), para carga lenta.
- Trifásico (63 A) para carga rápida.

Tabla 2. Conector tipo 2 [12]

Conector	No de pines	Tensión máxima (V)	Corriente máxima (A)	Normativa
	7 (L1, L2, L3, N,PE,CP,PP)	500 VCA Trifásica  250 VCA Monofásica	63 A Trifásica (hasta 43 KW)  70 A Monofásica	IEC 62196-2 Tipo 2

- **GB/T 20234.2**

Este tipo de conector describe la carga única trifásica en China, este tipo de conector cuenta con un sistema de palanca que no le permite desenchufar del vehículo mientras está en el modo de carga protegiendo al vehículo y al usuario por posibles manipulaciones. Este conector accede a la red de corriente alterna, cuya tensión nominal no debe superar los 440 V (CA), la frecuencia debe ser de 50 Hz y la corriente nominal no debe superar los 63 A (CA).

Las características principales de este conector son:

- Tiene siete borneras, cuatro destinadas para corriente trifásica, una para tierra y los dos restantes para comunicación.
- Bloqueo y desbloqueo por medio de palanca.
- Los valores de corriente están entre 10 A y 63 A.

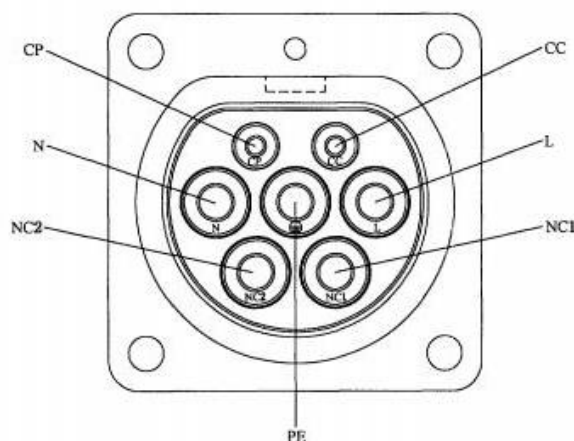





Figura 10. Conector tipo 3 GB/T 20234.2  
Fuente. [12], Esquema adoptado por los autores.

### 1.7.1 Comparación, similitudes y diferencias de operación entre los tipos de conector

La Tabla 3 muestra la operación de los diferentes tipos de conectores que se presentó anteriormente, con sus diferencias y similitudes. [13]

Tabla 3. Comparación entre los diferentes tipos de conectores para la carga de VE.

	<b>IEC 62196-2</b>		<b>GB/T 20234.2</b>
	SAE J1772	Mennekes	GB/T 20234.2
<b>Fase</b>	Monofásico	Monofásico Trifásico	Monofásico (trifásico reservado)
<b>Corriente</b>	32 A (80 A U.S)	70 A / 63 A	16A,32 A
<b>Voltaje</b>	240 V	480 V	250 V / 400 V
<b>Pin y enclavamiento</b>	5 terminales, bloqueo mecánico	7 terminales, cerradura electrónica	Cerradura mecánica de 7 terminales (cerradura electrónica opcional)
<b>Piloto de control</b>	Dos terminales cortos	Un terminales corto, un puerto largo	Dos terminales cortos
<b>Pin male y female</b>	---	Enchufe: macho Conector del vehículo: hembra	Enchufe: macho Conector del vehículo: macho
<b>Conectores</b>			

## 1.8 Estudio de distintas ubicaciones en la ciudad

Antes de empezar este tema es importante mencionar la problemática que existe en el mercado ecuatoriano, ya que muchas personas al momento de tomar la decisión de adquirir un VE tienen inquietudes como ¿En dónde lo voy a recargar mi vehículo? o ¿Existen puntos de recarga en la ciudad? entre otras preguntas comunes.

Los vehículos eléctricos necesitan de una infraestructura dentro de la ciudad con un despliegue de puntos de recarga para sus baterías, una posible opción para considerar los lugares más importantes para la instalación de las electrolineras es tomar en cuenta los lugares más concurridos por la ciudadanía.

## **Públicos**

- Centros comerciales.
- Parqueaderos públicos.
- Parqueaderos privados.
- Hospitales.
- Instituciones públicas.
- Universidades.

## **Privados**

- Garajes particulares.
- Garajes para flotas de taxis o autobuses.

Las estaciones de carga ubicadas en lugares públicos ofrecen a los usuarios la posibilidad de una recarga completa o parcial de las baterías de su vehículo durante sus jornadas de trabajo o paseos familiares. Las recargas públicas deben estar disponibles para todos los usuarios que lo requieran por esta razón cada recarga deberá tener límite de tiempo.

La recarga de VEs en garajes particulares se puede realizar desde un porcentaje bajo de su batería hasta su totalidad ya que los potenciales usuarios de las estaciones son un grupo reducido. La mayoría de usuarios en la ciudad guardan sus vehículos en garajes por periodos de varias horas.

Para la instalación de una electrolinera en un lugar público se debe tener en cuenta los siguientes elementos: [14] [49]

- Disponibilidad de energía eléctrica.
- Caja general de protección.
- Cables.
- Centro de administración de datos.
- Interruptor de control de potencia.
- Comunicación con el usuario.

## **Disponibilidad de energía eléctrica**

Las estaciones de carga “electrolineras” necesitan el acceso a una red eléctrica que les pueda suministrar la tensión y la intensidad necesaria para su funcionamiento. La normativa EN62196-2:2012 define los niveles de tensión e intensidad necesarios para el estándar SAE J1772 que son: La tensión de carga asignada es de 250 V en CA y una intensidad de 32 A en monofásico para una carga lenta.

## **Caja general de protección**

La caja de protección es de material aislante, ésta aloja en su interior los elementos de protección necesarios para una estación de carga como: Breaker de 50 A en las líneas de tensión generales (L1 y L2), fusibles de protección. Además de contener las conexiones eléctricas físicas, permite que la electrolinera sea instalada fuera de edificios o en lugares abiertos.

## **Cables**

Para el uso de los cables se tiene varios tipos, para la conexión entre la Red eléctrica – electrolinera – vehículo es recomendable usar un cable 8 AWG que soporta una corriente por cable de 40 a 55 A para una temperatura de 60 °C a 90 °C respectivamente con una potencia máxima de 13.2 KW. Para las instalaciones internas se usa un cable 18 AWG que soporta una corriente por cable de 5 a 14 A para una temperatura de 90 °C con una potencia máxima de 168 W.

## **Centro de administración de datos**

Es donde se gestionará los datos de todas las recargas diarias que realizaron las estaciones de carga, de cómo están operando y que tiempo les tomó realizar cada una de ellas. Esta información ayuda a determinar los horarios de carga en ciertos lugares de la ciudad como la ubicación de las estaciones de carga.

## **Interruptor de control de potencia**

Este es un dispositivo que sirve para controlar la corriente demandada por el consumidor. El rango de operación es de bajo voltaje y hasta una corriente de 40 A para una potencia máxima de 13.2 KW.

## **Comunicación con el usuario**

Para la comunicación con el usuario se hace uso del protocolo de comunicación inalámbrica Wi-Fi, ya que esta tecnología de comunicación es la más utilizada hoy en día. La ventaja de usar Wi-Fi es que tenemos cero cables y la comodidad que ofrece es muy superior a las redes cableadas porque cualquiera que tenga acceso a la red puede conectarse.

## Capítulo 2

# Análisis de los diferentes esquemas de las estaciones de carga

### 2.1 Estándares para las estaciones de carga

Las normativas y estándares para conectores eléctricos y los modos de recarga para vehículos eléctricos son definidos por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). La IEC es una organización especializada en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. [15]

La normativa 62196-1 aplica las bases para enchufes, conectores, entradas y cables para vehículos eléctricos, destinados a sistemas de carga conductiva que incorporan medios de control, con un voltaje operativo limitado que no exceda de: [16]

- 690 V CA 50–60 Hz con una corriente limitada que no exceda de 250 A;
- 600 V CC con una corriente que no exceda de 400 A.

Los accesorios, circuitos eléctricos y cables para la recarga de un vehículo eléctrico están propuestos y especificados únicamente en la norma IEC 61851-1-2010 para su funcionamiento en varias tensiones y frecuencias. La norma IEC 61851-1-2010 en su parte 7.2.3.1 especifica el único uso para vehículos eléctricos el siguiente punto: [17]

*“Un segundo después de haber desconectado el VE del suministro, la tensión en cualquiera de sus partes conductoras accesibles y tierra debe ser menor de 42.4V de valor pico, o 60 V en CC, por otro lado, si la tensión es mayor de 42.4V de valor pico, 30 V eficaz o 60 V en CC se debe colocar una etiqueta de advertencia en un lugar que se puede apreciar para el consumidor”. [18]*

#### 2.1.1 Dimensiones

La norma IEC 61851-1-2010 para las dimensiones y uso de conectores para vehículos eléctricos detalla lo siguiente:

1. Los accesorios de los vehículos eléctricos deben ser semejantes entre sí. No es factible poder vincular los conectores de los vehículos con un enchufe de corriente o a su vez cuando dispongan de otro tipo de conector o de diferentes composiciones de contacto.
2. No sería posible realizar una correcta conexión unipolar entre la toma de corriente o los terminales del vehículo.
3. Los accesorios cumplen con lo establecido en la norma especificada, véase la Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de configuraciones.

Tipo de configuración	Anexo de aplicación	Tensión asignada (V)	Intensidad asignada (A)	Fase
Tipo 1	Acopladores de vehículo	No mayor de 250 V	32 A	Monofásico
Tipo 2	Accesorios	No mayor de 480 V	70 A 63 A	Monofásico Trifásico
Tipo 3	Accesorios	No mayor de 250 V No mayor de 250 V No mayor de 480 V	16 A 32 A 63 A	Monofásico Monofásico Trifásico

### 2.1.2 Protección contra el choque eléctrico

Los accesorios se diseñan de manera que las partes activas de la toma de corriente y los terminales del vehículo se puedan entrelazar de una manera simple y eficiente. [18]

Cuando se inserte la clavija del vehículo:

- El enlace a tierra se realiza antes que se realicen las conexiones de fase y de neutro.
- El enlace del control piloto, si es el caso, se efectúa después de las conexiones de fase y neutro.

Cuando se aísle el conector del vehículo

- La unión fase y neutro, en el caso que abran antes se genere la unión a tierra.
- El control piloto, abre las uniones de fase y neutro.
- La relación que existe entre el interruptor y la conexión, si fuera el caso, deben efectuarse una división entre el contacto a tierra y el control piloto.

### 2.1.3 Grados de protección

La norma establece los siguientes parámetros: [18]



- “Los accesorios deben tener los grados de protección apropiados que se solicite en la norma IEC 61851-1:2010”.
- “Los accesorios deben ser a prueba de humedad frente a las situaciones que se puedan presentar en un uso normal”.

## 2.2 Esquema del funcionamiento de la estación, estándar SAE J1772

En la Figura 11 se muestra un diagrama de bloques de cómo está conformada una estación de carga. Este esquema sencillo contiene únicamente los bloques que se consideran como obligatorios para el correcto funcionamiento de la estación. De izquierda a derecha de la figura se observa en primer lugar, la conexión con la red eléctrica, en este caso la conexión puede ser monofásica o bifásica dependiendo de las instalaciones disponibles. Casi inmediatamente se encuentran los fusibles en cada una de las fases, estos fusibles son de protección para la estación en caso de haber corto circuitos. El siguiente elemento es un relé, el cual cumple la función de un interruptor que permite el paso de la corriente alterna desde la red eléctrica hacia el VE, el tercer elemento es un sensor de corriente para cada fase, estos sirven para comprobar si la corriente está o no fluyendo hacia el VE. Tanto el Relé como el sensor de corriente estarán conectados a un ente de control para regular y comprobar, respectivamente, el estado de carga del VE, además el controlador debe obligatoriamente leer la señal de piloto usada como vía de comunicación entre el VE y la estación de carga. Finalmente se tiene el conector, que en este caso pertenece al estándar SAE J1772, este conector se enchufa en el vehículo eléctrico al momento de realizar la carga.

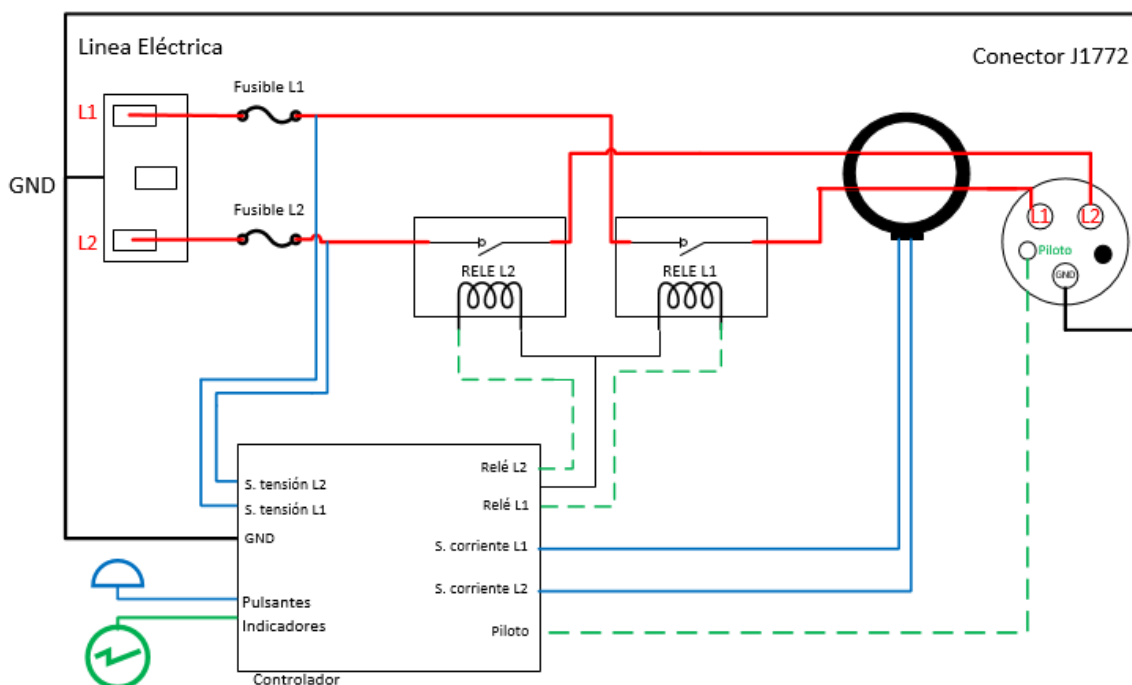


Figura 11. Diagrama de bloques de la estación de carga, estándar SAE J1772.  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

Las líneas de color rojo representan a las líneas de alta tensión, las líneas de color azul representan las señales que ingresan al controlador, en este caso sensores y pulsantes, las líneas de color verde son señales que provienen del controlador, y para terminar la línea en color negro representa la tierra o punto de masa.

El esquema de la Figura 11 muestra los elementos mínimos para la función de la estación de carga, pero a este esquema básico se pueden añadir bloques que permiten mejorar el control y desempeño de la misma, como sensores de tensión para comprobar que la estación cuenta con la capacidad de cargar el VE. Además, existe la posibilidad de añadir otros bloques que, si bien no están relacionados con la carga del VE, sirven para una mejor interacción entre el usuario y la estación volviéndola más amigable. [19]

## **2.3 Sensores**

### **2.3.1 Sensores de Tensión**

Los sensores de tensión se utilizan en sistemas eléctricos de baja y alta tensión, como instrumentación para sistemas de monitorización y detección de voltaje eléctrico. La detección del voltaje indica si la estación cuenta o no con la alimentación necesaria, además permite saber si ésta está conectada a una red monofásica o bifásica. La estación de carga cuenta con un sensor de tensión que indica al controlador la presencia de tensión en las líneas (L1, L2). [20]

Dentro de los circuitos comerciales para la medición de tensión existe una gran variedad, sin embargo, para la aplicación que se detalla en esta investigación es utilizado el integrado MID400 que es un opto acoplador de línea de corriente alterna, que brinda aislamiento galvánico, véase la Figura 12. La función de este componente es detectar el voltaje de línea en corriente alterna que es monitoreado por dos diodos LED consecutivos en serie (Figura 12 lado izquierdo) uno de los diodos se enciende durante el semiciclo de la onda senoidal mientras que el otro lo hace en el semiciclo negativo, un dispositivo fotosensible recibe estos estímulos lumínicos y genera una respuesta indicando la presencia de voltaje. La conexión a la red eléctrica se lo realiza por el terminal 1 y se debe colocar una resistencia externa en serie, por lo general de 28 K ohm en adelante para limitar el paso de corriente. Una vez colocada la resistencia en serie en el terminal 1 el componente envía una señal de alto (5v en CC) a su salida (terminal 7), indicando la presencia de voltaje a su entrada. [20]

La ventaja de este tipo de sensor óptico es que, al poseer un aislamiento galvánico (generalmente superiores a 100 V), la parte de energía alterna no está en contacto directo con la parte de control. En el peor de los casos de existir sobre picos de tensión en la red, los únicos elementos comprometidos serían estos sensores de voltaje óptico, pero el resto del circuito de control permanecería sin sufrir ningún problema. [20]

Con este integrado es posible realizar también otras aplicaciones, el cual, en lugar de simplemente indicar si la tensión está presente o no (binario), mediante su

funcionamiento en su región lineal es posible estimar el nivel tensión, pero esta idea no fue implementada ya que se asumió que el voltaje permanece casi constante en la red eléctrica. [20]

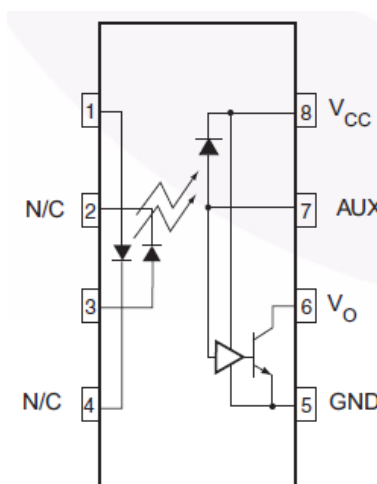


Figura 12. Esquemático MID400.

Fuente: [20], Esquema adoptado por los autores.

### 2.3.2 Sensores de Corriente

Un sensor de corriente es un dispositivo que convierte, el campo eléctrico producido por una corriente que circula a través de un conductor en una magnitud física diferente como voltaje. Es de suma importancia que la estación tenga un sensor de este tipo, dado a la necesidad de medir esta variable. Los sensores de corriente se colocan en cada una de las líneas de alimentación, para medir el flujo de corriente de cada una; no es necesario que la tierra tenga su propio sensor, dado que es un circuito balanceado de dos fases.

La estación de carga tiene dos tipos de sensores de corriente. El primero es de tipo binario, es decir, indica si la corriente está fluyendo por el sensor o no, mediante señales lógicas (Alto 5 V, Bajo 0 V). El segundo tipo genera una señal analógica con la misma forma de onda que la corriente que circula por cada una de las fases, esta señal debe estar acotada entre 0-5 V en CC.

El tipo de sensor de corriente que se utiliza para la estación de carga es de la familia CR8400, Figura 13, este componente cuenta con un núcleo de acero de silicio de la más alta calidad y cumplen con la mayoría de las necesidades de medición de corriente alterna. [21]

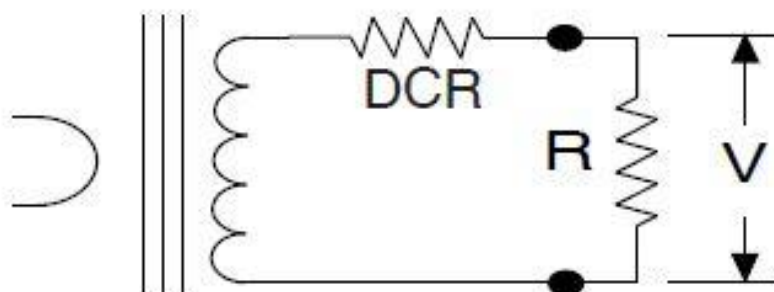


Figura 13. Circuito equivalente del sensor CR8400  
Fuente: [21], Esquema adoptado por los autores.

En la Figura 13 se muestra el circuito equivalente del sensor CR8400, en donde:

- $DCR$  = Representa la resistencia interna del sensor.
- $R$  = Resistencia externa en paralelo
- $V$  = voltaje de salida

$$V = \frac{I \times R}{T_e} \quad (1)$$

$$V_L = V_{max} - \left[ \frac{I \times DCR}{T_e} \right] \quad (2)$$

Dónde:

- $T_e$  = Proporción de vueltas efectiva, incluidas las pérdidas (para una frecuencia de 60 Hz)
- $I_r$  = Corriente de entrada máxima a detectar linealmente
- $V_{max}$  = voltaje máximo (saturación), dado en sus especificaciones técnicas.

Nota: El valor de  $DCR$ ,  $T_e$  y  $V_{max}$ , dado en sus especificaciones técnicas.

La familia CR8400 en sus especificaciones técnicas muestra varios tipos de sensores para diferentes corrientes. La estación de carga opera a una corriente máxima de 32 A se toma el tipo de serie CR8400-1000 que opera entre 20 A – 50 A y especifica los siguientes valores:

$$\begin{aligned} I_r &= 50 \text{ A} \\ V_{max} &= 5.2 V_{rms} \\ T_e &= 1018 \\ DCR &= 22 \text{ ohm} \\ Frecuencia &= 20 - 1 \text{ KHz} \end{aligned}$$

Para una mejor linealidad, debe cumplir que  $V < 0.8V_L$  y así determinar  $R$ . El procedimiento es el siguientes donde: Reemplazamos los valores de  $DCR$ ,  $I$ ,  $T_e$  y  $V_{max}$  en las ecuaciones 2 encontrando el valor de  $V_L$ . Luego despejamos  $R$  de la ecuación 1 y tenemos que:

$$V_L = 5.2 - \left[ \frac{32 \times 22}{1018} \right] = 4.5084 \text{ V} \quad (3)$$

$$V = 0.8 \times 4.5084 = 3.6067 \text{ V} \quad (4)$$

$$R = (T_e \times V) / (I_r) = 114.7381 \text{ ohm} \quad (5)$$

Con el resultado de la ecuación 5, la resistencia para la mejor linealidad es de 114.7381 ohm.

## 2.4 Señal de Comunicación entre la estación y el Vehículo Eléctrico.

El protocolo de comunicación y señalización de la estación de carga del equipo de suministro de vehículos eléctricos (EVSE, por sus siglas en inglés), se muestra en la Figura 14, donde podemos ver un esquema eléctrico segmentado en bloques que se consideran como importantes para su correcto funcionamiento. De izquierda a derecha de la figura presentada se observa en primer lugar, el controlador EVSE donde se genera la onda cuadrada PWM que se envía por el puerto piloto. En segundo lugar, tenemos el conector macho del VE que está bajo el estándar SAE J1772, seguidamente tenemos la entrada del VE conector hembra, donde encaja el conector SAE J1772 de la estación de carga; finalmente se tiene el controlador del VE que es el encargado de variar la amplitud de la señal PWM del piloto. [26]

### 2.4.1 Conector SAE j1772

- CONTROLADOR DEL EVSE. Genera la onda cuadrada de 1KHz por medio de un microcontrolador, la onda cuadrada es enviada para la comunicación entre la estación de carga y el VE. [26]
- CONECTOR DEL EVSE. Tiene los 5 terminales que son: 2 terminales de corriente (L1, L2), 1 terminal de fase (GND) y 2 terminales de comunicación: piloto y proximidad.

El terminal de piloto, envía la señal generada en la estación hacia el vehículo.

El circuito de proximidad está presente en el VE y en el enchufe, utiliza un circuito simple que consta de un divisor de voltaje con resistencias en paralelo y en serie, estas sirven para indicar al vehículo que ya está conectado. [26]

- ENTRADA DEL VEHÍCULO. Contiene los 5 terminales de estilo macho, esta parte ya es el VE. Además, cuenta con una resistencia que se conecta al polo de proximidad cerrando el circuito con la estación de carga. [26]
- CONTROLADOR DEL VEHÍCULO. Cuenta con diferentes resistencias que permiten modificar la amplitud de la señal de piloto, son estas variaciones en la amplitud de la señal de piloto, las que el controlador interpreta como variaciones del estado de carga. [26]

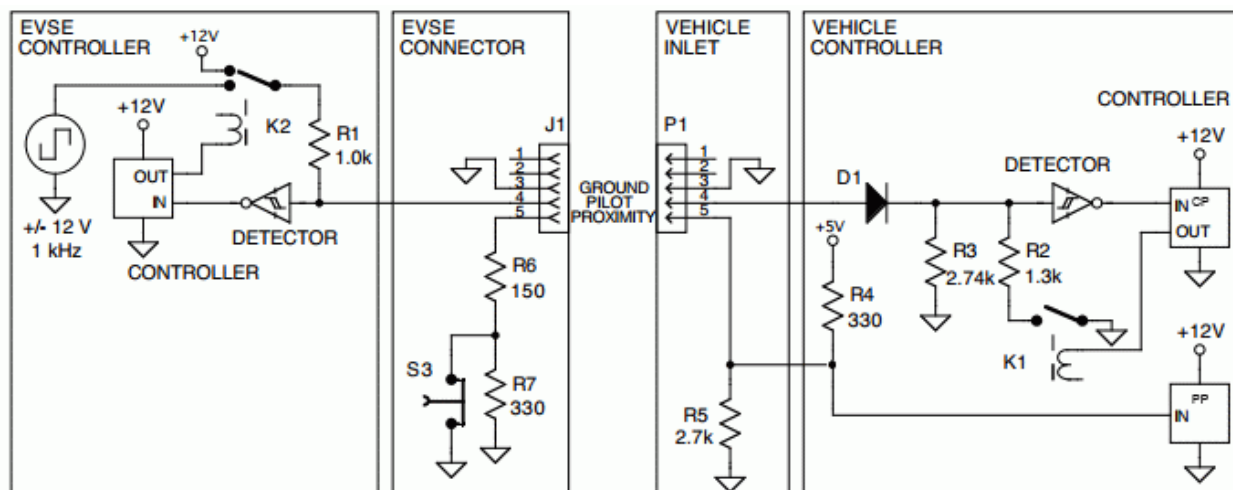


Figura 14. Circuito de Señalización J1772 [22].  
Fuente. [60], Esquema adoptado por los autores.

## 2.4.2 Señal de comunicación

La estación de carga envía una señal continua de +12 V a través del puerto de piloto antes de que se conecte con el VE. Cuando la estación de carga detecta al vehículo eléctrico cambia la señal continua por una señal PWM (*Pulse Wide Modulation*) de 1KHZ que oscila entre +12 y -12 V. La amplitud de esta señal variará de acuerdo a los estados que se definen en la Tabla 1. Estas variaciones se producen por las resistencias que se encuentran en el controlador del vehículo. [23]

La Tabla 5 muestra los estados de operación del protocolo de comunicaciones, junto con el voltaje de piloto, la resistencia del vehículo y su descripción.

Tabla 5. Estados de comunicación entre la estación de carga y el vehículo eléctrico.

Estado	Voltaje Piloto	Resistencia Vehículo	Descripción
Estado A	12	Circuito abierto	No conectado
Estado B	9	2.47K ohm	Conectado
Estado C	6	882 ohm	Cargando
Estado D	3	246 ohm	Con ventilación
Estado E	0	Circuito abierto	Sin energía
Estado F	~ -12	Circuito abierto	EVSE Error

El ciclo de trabajo de la onda cuadrada del piloto depende de la configuración de corriente alterna (CA) máxima posible en la estación de carga. El estándar SAE J1772 describe el valor de la corriente alterna que podrá manejar la estación de carga mediante el ciclo de trabajo de la señal asociado al terminal piloto del conector. Para determinar el ciclo de servicio de la corriente máxima disponible el estándar SAE J1772 establece las siguientes ecuaciones: [46]

- **Para 6A-51A**

$$Amperios = Duty Cycle \times 0.6 \quad (6)$$

$$Duty Cycle = \left( \frac{Amperios}{0.6} \right) \quad (7)$$

- **Para 51A-80A**

$$Amperios = (Duty Cycle - 64) \times 2.5 \quad (8)$$

$$Duty Cycle = \left( \frac{Amperios}{2.5} \right) + 64 \quad (9)$$

Tabla 6. Valores de corriente alterna según el ciclo de servicio del estándar SAE J1772 [24].

Amperaje	Ciclo de servicio	Amperaje	Ciclo de servicio
6 A	10 %	40 A	66 %
12 A	20 %	48 A	80 %
18 A	30 %	65 A	90 %
24 A	40 %	75 A	94 %
30 A	50 %	80 A	96 %

Nota: Debido a las características del VE disponible, (Capacidad del *Charger on-board* 6.6 KW). La estación de carga descrita en este trabajo hace uso de un ciclo de trabajo de 50 % para una corriente máxima de 30 A que representa 5.3 KW de potencia.

La onda cuadrada que genera el microcontrolador es una señal PWM. Debe cumplir con la ecuación 10 para establecer el ciclo de trabajo del terminal piloto.

$$Duty Cycle = \frac{\tau}{T} \quad (10)$$

Dónde:

*Duty Cycle* = Ciclo de Trabajo

$\tau$  = Tiempo en que la señal pertenece en Alto

$T$  = periodo de la señal (por defecto según la norma de 1ms).

En la Figura 15 se observa tres tipos de señales PWM con diferentes ciclos de trabajo. El literal (a) muestra una señal PWM con un ciclo de trabajo del 10%, es decir, que la señal permanece el 10% en Alto y el 90% en Bajo. Los literales (b) y (c) muestran un ciclo de trabajo del 50% y 90% respectivamente. [25]

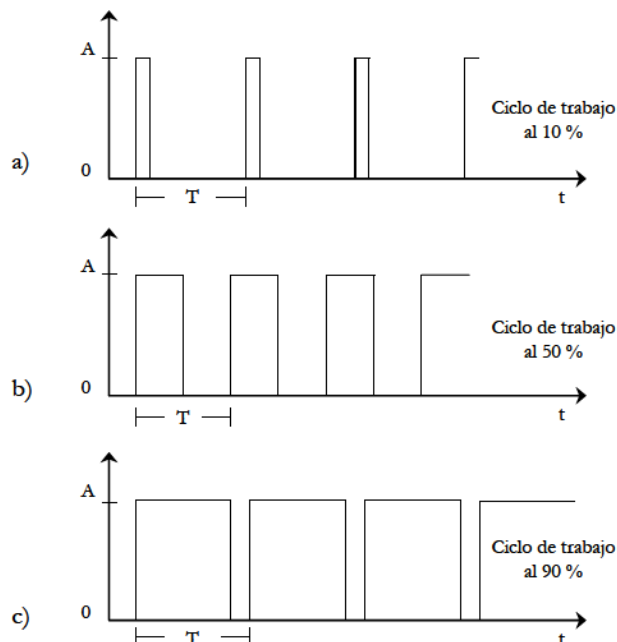


Figura 15. Variación del ciclo de trabajo de una señal PWM.  
Fuente: [25], Esquema adoptado por los autores.

Para generar una señal PWM se puede hacer mediante dos métodos, analógicamente y digitalmente. Por el método analógico se puede utilizar amplificadores operacionales para generar la señal PWM, pero se descarta este método ya que se necesita de varios componentes electrónicos. Para generar la señal PWM por el método digital es mediante un microcontrolador, este método es la mejor opción por las características que cuenta como la capacidad de variar el ancho de pulso de la señal PWM mediante comandos de programación. [25]

### 2.4.3 Puerto proximidad

El circuito de proximidad está presente en el conector, véase la Figura 14 parte EVSE CONNECTOR. En la Tabla 7 se muestra los diferentes niveles de voltaje que se mide en el terminal de proximidad que corresponde a cada estado. Dichas mediciones se toman por la combinación de las resistencias en serie como en paralelo.



Tabla 7. Estados del puerto de proximidad.

Estado	Voltaje en el pin de proximidad
No conectado	4.5 V
Botón presionado	3 V
Conectado	1.5 V

## 2.5 Actuadores

### 2.5.1 Relés

El principal objetivo de los actuadores en esta aplicación es permitir la circulación de corriente eléctrica hacia el vehículo. Los relés eléctricos son básicamente interruptores accionados por un sistema electromecánico llamado electroimán. Este electroimán está formado por un núcleo, una barra de hierro, rodeado por un hilo de cobre, llamada bobina. Cuando la bobina recibe corriente eléctrica en sus terminales magnetiza al núcleo de hierro generando un campo magnético, convirtiéndose en un imán. Si la bobina deja de recibir corriente eléctrica, desaparece el campo magnético y el núcleo deja de ser un imán. [28]

El funcionamiento de un relé se muestra en la Figura 16, donde la bobina es excitada eléctricamente atrayendo al inducido de hierro que empuja a los contactos del interruptor permitiendo el paso de la corriente eléctrica. La corriente que pasa por los contactos del interruptor es mucho mayor a la corriente que pasa por la bobina. [28] [29]

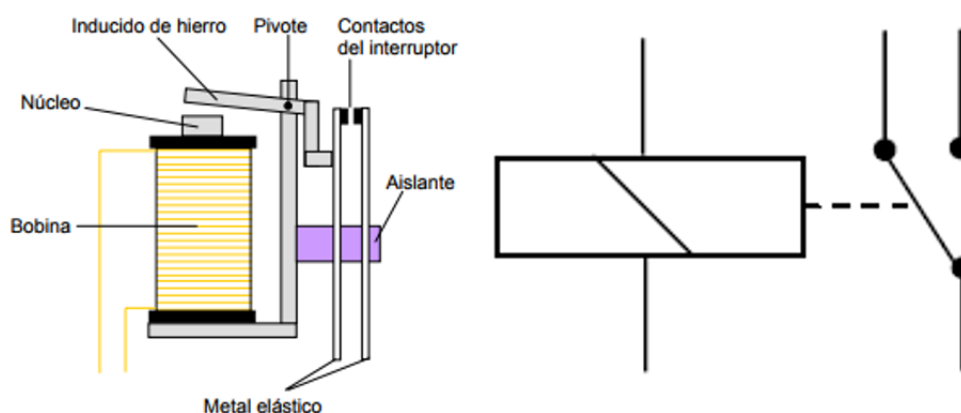


Figura 16. Partes de un relé simple.

Fuente: [29], Esquema adoptado por los autores.

El símbolo del relé se muestra al lado derecho de la Figura 16, donde la bobina y el núcleo corresponden al rectángulo y los contactos del interruptor son representados por el símbolo del mismo.

Existen varios tipos de relés que se distinguen por sus características tales como: número de contactos, corriente de activación, tiempo de conmutación. Cuando un relé trabaja a grandes potencias se lo conoce como contactor. [30]

Los tipos de relés electromecánicos son los siguientes:

- **Relé de tipo armadura**

Un relé de armadura es aquel que por medio de un electroimán provoca el movimiento de los contactores del interruptor.

- **Relé de núcleo móvil**

Los relés de núcleo móvil son muy utilizados por controlar altas corrientes, ya que utilizan un émbolo en lugar de una armadura.

- **Relé tipo lengüeta**

Este tipo de relé se caracteriza por estar formado por una ampolla de vidrio, donde todos sus componentes se encuentran dentro de él, su característica principal es que puede controlar altas corrientes.

- **Relé polarizado**

Los relés polarizados o bi-estables se caracterizan por tener una pequeña armadura que provocando el cierre de sus contactos puede abrir un circuito y cerrar otro independiente.

Un relé puede tener dos estados diferentes para varios contactores, dichos estados son: NC (Normalmente Cerrados) o NA (Normalmente Abierto) con un contacto común, véase la Figura 17.

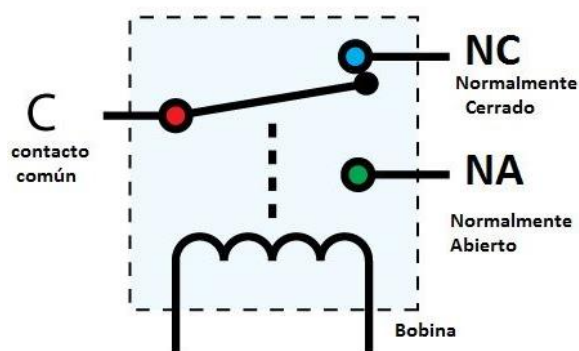


Figura 17. Estados de un relé simple.

Fuente: [30], Esquema adoptado por los autores.

La corriente máxima que la estación debe manejar bordea los 30 A en los terminales del interruptor y debe ser accionado por una corriente mínima en su bobina. El Relé seleccionado para esta aplicación fue el T92P7D22-12 de la familia Serie T92 PCB bipolar de 30 A puede controlar hasta 4 KV por línea en los contactos del interruptor y ser accionado con 12 V en CC en su bobina, la temperatura máxima que puede soportar es de 155 °C. En la Figura 18 se muestra el símbolo eléctrico del Relé T92P7D22-12.

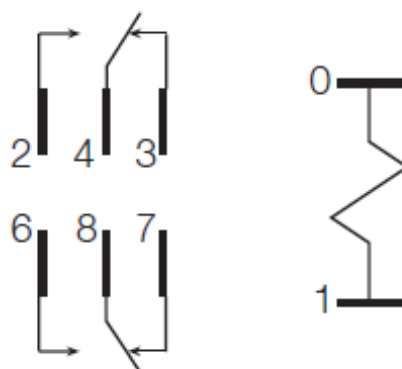


Figura 18. Símbolo eléctrico de Relé T92P7D22-12.  
Fuente: [31], Esquema adoptado por los autores.

En la Tabla 8, se especifica las características de la bobina del Relé *T92P7D22-12*.

Tabla 8. Especificaciones de la bobina del Relé T92P7D22-12.

Datos de la bobina	
Rango de voltaje de la bobina	12 a 24 V en CC
Máxima potencia de la bobina	1.7 W; 4 VA
Max. temperatura de la bobina	155 ° C
resistencia de la bobina	9.1 ohm $\pm$ 10 %

## 2.6 Controlador

El controlador es el componente más importante de la estación de carga, se puede decir que es el cerebro de la misma. Véase la Figura 19, es el encargado de tomar las lecturas de los sensores y la señal del terminal del piloto, es también el encargado de activar o desactivar los actuadores convenientemente, además, es capaz de encontrar posibles fallas en los distintos componentes de la estación, finalmente es el que ofrece la posibilidad de poder generar una interfaz entre el usuario y la estación, mediante dispositivos de entrada y salida como botones y una pantalla.

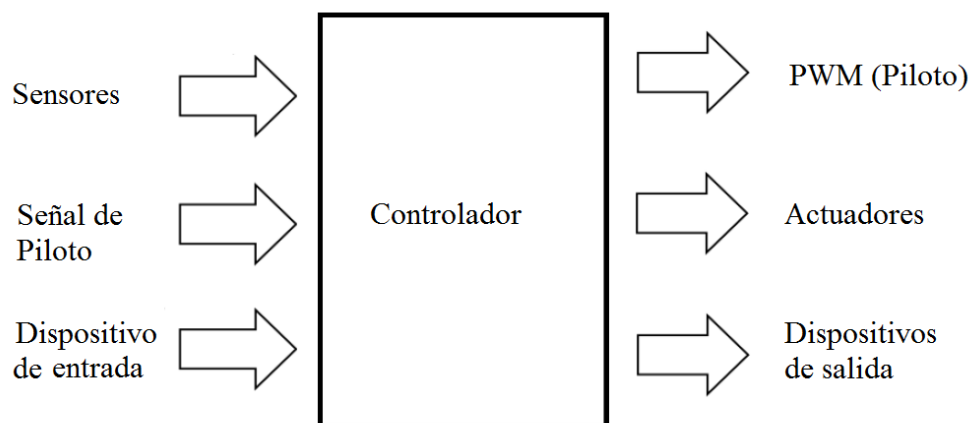


Figura 19. Diagrama de bloques del controlador.  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

El controlador seleccionado para el diseño es el microcontrolador 18F4550, esto debido a las grandes prestaciones que ofrece este microcontrolador, y la relación coste beneficio que ofrece frente a otros dispositivos similares. El PIC 18F4550 posee importantes características útiles para el diseño. Véase la Figura 20. [32]

- Flash program memory (bytes) de 32 Kbytes.
- Flash program memory (instructions) de 16 Kbytes.
- Velocidad de la CPU 12 MIPS.
- Hasta 35 pines I/O disponibles.
- 5 pines (3 de 8 pines, 1 de 7 pines, 1 de 4 pines).
- Tecnología nano Watt que brinda características y funciones de bajo consumo y ahorro de energía.
- Oscilador interno de 4MHz y externo de hasta 48 MHz.
- 13 pines para convertidores ADC con resolución de 10 bits.
- PWM con resolución de 10 bits.
- Puertos de comunicación serial UART, I2C.
- Protección de código programable.
- Conjunto de 75 instrucciones.
- Soporta 100,000 ciclos de borrado/escritura en memoria flash.
- Soporta 1,000,000 ciclos de borrado/escritura en memoria EEPROM.

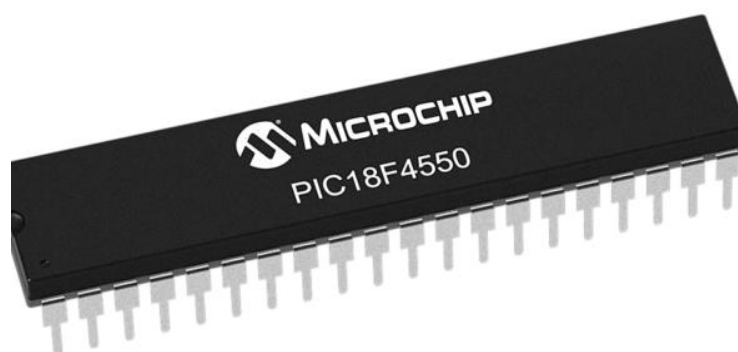


Figura 20. Microcontrolador 18F4550  
Fuente: [61], Fotografía adoptada por los autores.

## 2.7 Programación

El código programado en el microprocesador define las acciones que este debe ejecutar de acuerdo a los 3 estados ilustrados en la Figura 21.

- 1 El microcontrolador debe asegurarse de que sus sistemas operen.
- 2 El microcontrolador debe generar la señal PWM del piloto (generación continua).
- 3 El microcontrolador debe leer las señales de entrada (piloto, sensores, botones.)
- 4 El microcontrolador debe activar o desactivar los actuadores (Relés).
- 5 Adicionalmente y de manera opcional el microcontrolador puede desplegar información de la estación en una pantalla o usar indicadores (LED).

Siguiendo estos 5 lineamientos, se desarrolló el diagrama de flujo que se observa en la Figura 21 para la operación de la estación el cual muestra las distintas actividades que ésta realiza. Posteriormente este diagrama se usó para desarrollar el código que se programó en el microcontrolador.

- 1 El controlador en primer lugar debe asegurarse que los sistemas estén conectados y que esté emitiendo la señal de operación satisfactoria. Los sensores de voltaje deben indicar la presencia de una tensión, mientras que los sensores de corriente deben indicar la ausencia de flujo de corriente.
- 2 El controlador genera de manera ininterrumpida la señal PWM que servirá de piloto.
- 3 El controlador debe leer la señal de piloto.
- 4 El controlador define si el estado de la estación es A, B o C de acuerdo con la lectura registrada.
  - a. Si el estado es A, significa que ningún vehículo está conectado por lo que únicamente se comprueba el funcionamiento de los sistemas.

- b. Si el estado es B, significa que un vehículo está conectado a la estación, en este caso es necesario comprobar los sistemas y además asegurarse del estado de los actuadores e indicadores.
  - c. Si el estado es C, significa que el vehículo eléctrico se está cargando, igual que en los estados anteriores, comprobamos los sistemas y el correcto funcionamiento de los indicadores y actuadores.
- 5 Los pasos se repiten desde el número 3.

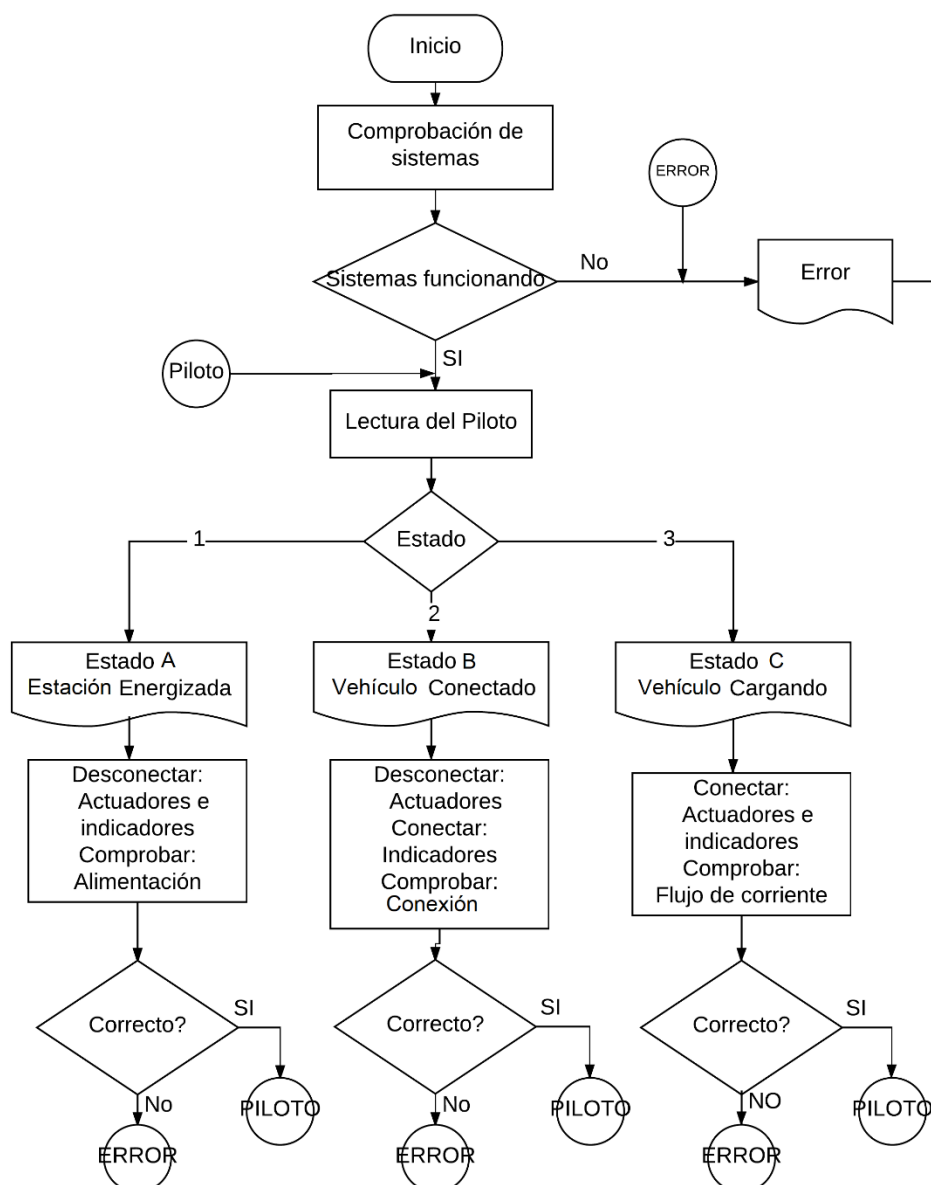


Figura 21. Diagrama de flujo del funcionamiento de la estación.  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

La señal de piloto, como se menciona antes, define los estados que los números como estado A, estado B y estado C, véase la Figura 22; esta diferenciación se logra gracias a que la amplitud de esta señal varía dependiendo del estado. Es importante conocer y modelar la transición de estados para evitar que la estación cometa errores que pueden comprometer la integridad de la misma y del vehículo que está conectado. La Figura 22 nos muestra como los estados cambian entre sí, además nos indican la forma que debe tener la señal piloto en cada estado y las acciones que se deben realizar.

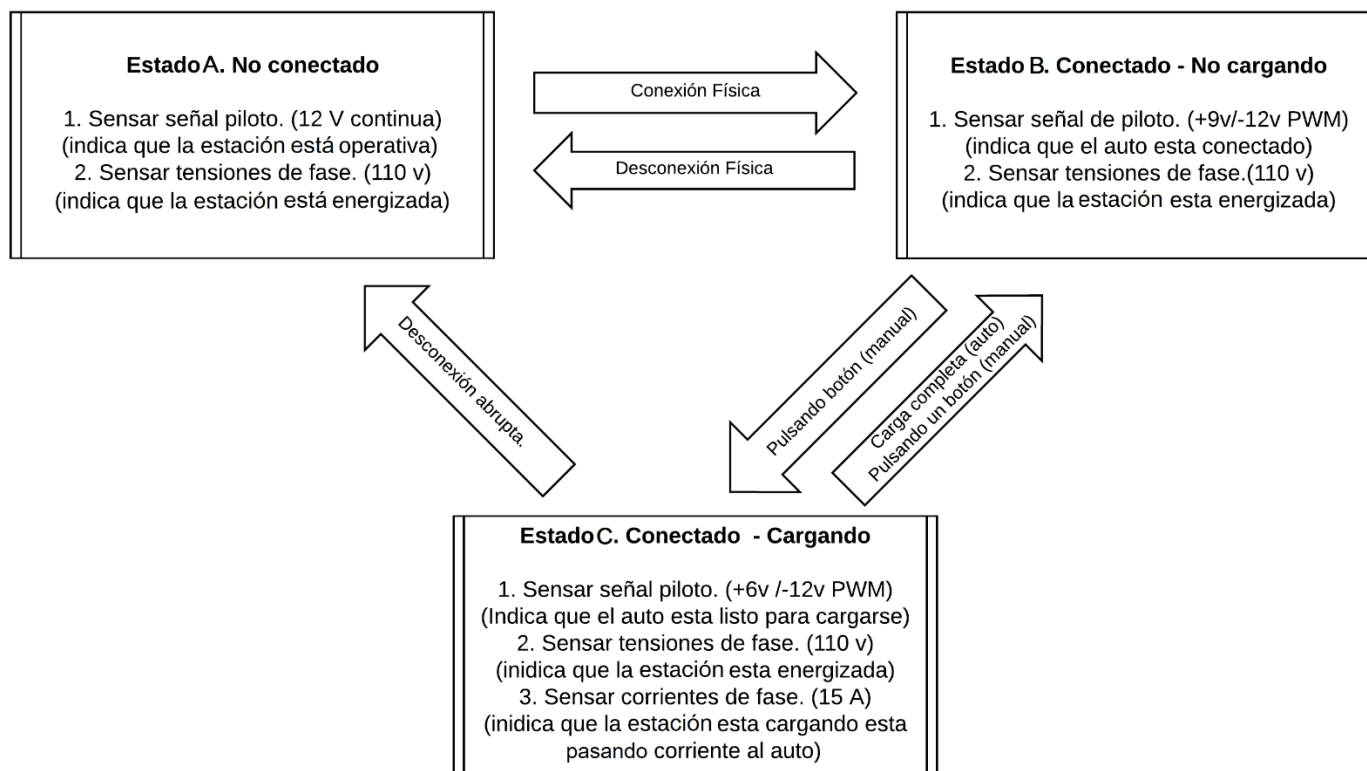


Figura 22. Diagrama de bloques de los estados de la estación de carga.  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

## Capítulo 3

### Implementación de la estación de carga

Este Capítulo trata sobre el estudio para el desarrollo de la estación de carga, dicho estudio consta de diseño y simulaciones de los circuitos presentados en el Capítulo 2, la fabricación de la placa PBC y la implementación física de la misma.

#### 3.1 Estudio de circuitos de la estación de carga

Una estación de carga se compone de diferentes circuitos que conlleva a su adecuado funcionamiento, estos circuitos se dividen en grupos como: fuentes de alimentación de corriente continua, sensores de voltaje y corriente, señal del piloto para la comunicación, activación de relé, señales de entrada, salida para pulsadores y LEDs respectivamente.

##### 3.1.1 Circuito fuente de alimentación eléctrica

Una fuente de alimentación eléctrica es aquella que tiene una diferencia de potencial eléctrico en sus terminales. Existen dos tipos de fuentes: de corriente continua y de corriente alterna. Las fuentes de corriente continua cuentan con dos terminales uno positivo y uno neutro o tierra. En las fuentes de corriente alterna existen dos terminales de igual manera, pero el terminal positivo se lo llama la línea viva y el terminal negativo se lo llama línea de neutro.

La estación de carga se conecta a una fuente de alimentación eléctrica externa que brinda un voltaje de 12 V a 1 A en CC. La mayor parte de los circuitos electrónicos que contiene la estación de carga se alimentan a diferentes niveles de voltaje, es por ello que se necesita reguladores de voltaje y convertidores CC/CC. [33]

Un regulador de voltaje básicamente es un dispositivo que se alimenta de una tensión  $V_{in}$  que puede ser variable y es capaz de entregar una tensión  $V_{out}$  que es casi constante; en donde  $V_{in}$  es superior a  $V_{out}$ . Este dispositivo es utilizado para garantizar tensiones constantes sin importar los cambios en los niveles de tensión a su entrada protegiendo a los circuitos electrónicos de posibles daños. En la Figura 23 se muestra el diagrama de pines de un regulador de voltaje LM78XX. [34]

1. Pin de entrada
2. Pin de GND
3. Pin de salida



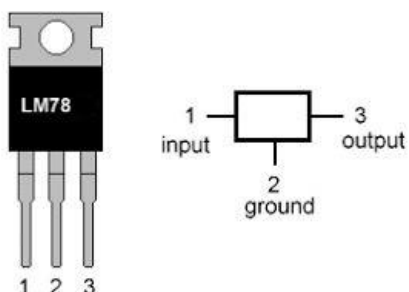


Figura 23. Diagrama de terminales del regulador de voltaje LM 78XX.

Fuente: [34], Esquema adoptado por los autores.

Los niveles de voltaje que necesita la estación de carga se muestra en la Tabla 9 junto al regulador que brinda el voltaje necesario.

Tabla 9. Niveles de voltaje para distintos circuitos de la estación de carga

Circuito	Nivel de voltaje	Componente
Microcontrolador y amplificadores operacionales	5 V	7805
Comunicación serial	3.3 V	7833
Relé	12 V	7812

El circuito básico para un regulador de voltaje se muestra en la Figura 24, este circuito se utiliza de igual manera para los reguladores LM7812, LM7805 y LM7833.

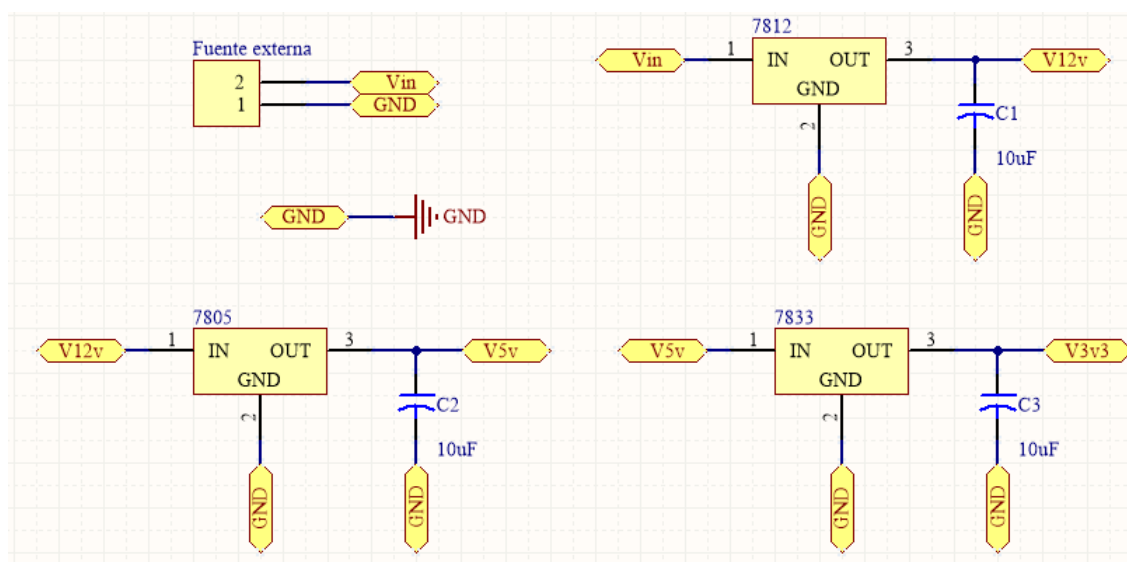


Figura 24. Circuitos para fuentes de alimentación de 12 V, 5 V y 3.3 V.

Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

Un convertidor CC/CC es un dispositivo que toma como alimentación una tensión de entrada y la convierte a una tensión de salida objetivo. Estos dispositivos suelen ser reguladores de conmutación brindando tensión de salida controlada. [35]

El circuito para la comunicación del piloto necesita una fuente simétrica de  $\pm 12V$ . Para ello se utiliza el componente *D107E Series* que es un convertidor CC/CC no aislado de bajo costo, en la Figura 25 se muestra el diagrama de pines del componente.



Figura 25. Diagrama de pines del convertidor.

Fuente: Basado en las especificaciones técnicas, editado por los autores.

La Tabla 10 muestra los pines de conexión del componente.

Tabla 10. Conexiones de pines para el componente D107E Series

PIN	Valor
1	Vin 12 V
2	GND
4	(-) Vout
5	GND
6	(+) Vout

### 3.1.2 Circuito de acondicionamiento de señal de piloto

El circuito de la señal del terminal de piloto tiene como función principal proporcionar la señal PWM al VE como fue descrito en el Capítulo 2. El circuito en su alimentación necesita un convertidor de voltaje CC/CC ya que la señal oscila en intervalos de  $\pm 12V$  y los amplificadores operacionales de igual manera. Un amplificador operacional es un dispositivo de alta ganancia acoplada en corriente continua, es decir, tiene una transferencia de energía directa mediante un contacto físico. [36]

Esta etapa permite acondicionar la señal de PWM proveniente del microcontrolador hacia el VE ya que no se pueden conectar directamente debido a que los niveles de voltaje son diferentes, véase la Figura 26. [36]

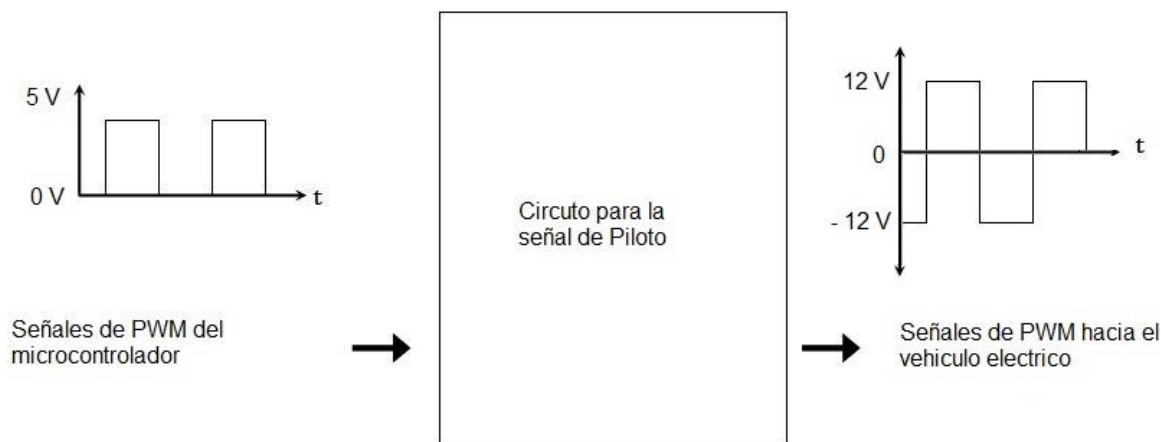


Figura 26. Circuito de acondicionamiento de señal de PWM.  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

El circuito para la señal de Piloto, véase la Figura 27, se encarga de enviar la señal PWM (+/-12 V) al VE y al mismo tiempo leer los diferentes niveles de voltaje por medio del divisor de voltaje de las resistencias (R6 y R7) que se encargan de reducir los niveles de +/-12 V de la señal PWM. La resistencia (R5) suministra una polarización positiva para mantener a la señal en un intervalo de 0-5 V ya que el microcontrolador permite un rango en sus entradas analógicas entre 0 V y +5 V. Entonces la relación será: -12 V equivale a 1 V y +12 V equivale a 4.5 V.

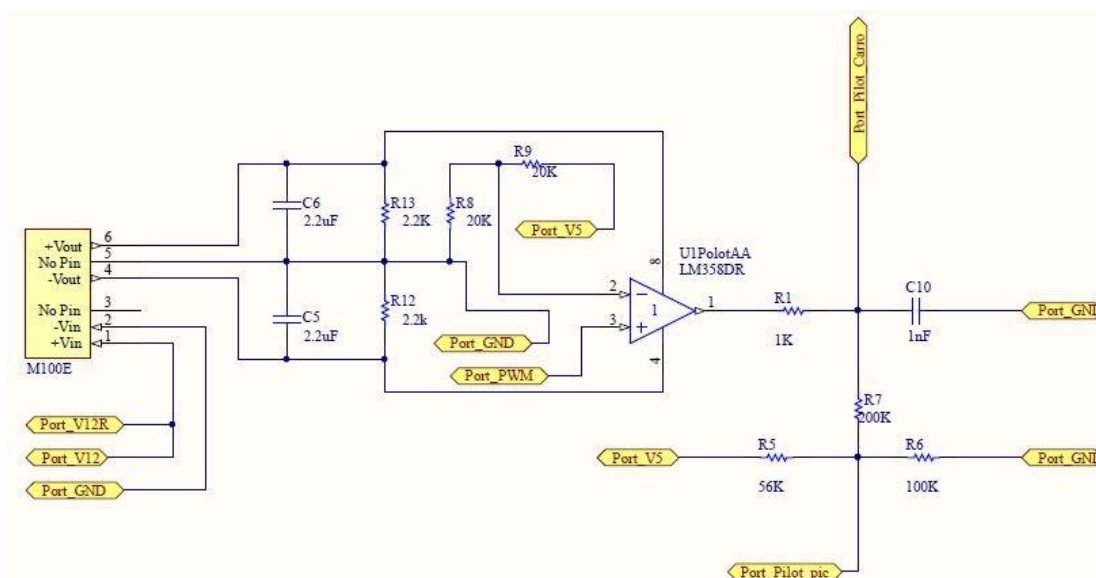


Figura 27. Circuito para la comunicación de la señal piloto.  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores, basado en [37]

### 3.1.3 Circuito de sensores.

Los sensores eléctricos o transductores sirven para medir magnitudes, como voltaje, corriente, conductividad, campo magnético, etc. Esto lo hacen convirtiendo estas magnitudes en otras de fácil medida, por lo general puede ser un voltaje acotado entre un  $V_{max}$  y un  $V_{min}$ , y mediante ecuaciones y aproximaciones matemáticas podemos obtener una medida muy aproximada al valor real.

#### 3.1.3.1 Sensores de corriente

Los sensores de corriente en una estación de carga se utilizan para determinar si existe flujo de corriente alterna hacia el vehículo cuando este está en modo carga. Existen comercialmente distintas técnicas, en esta aplicación se utiliza un sensor de la familia CR8400. El sensor se activa cuando detecta una corriente mínima de 5 mA, pero las estaciones de carga más comunes activan su sensor de corriente a 20 mA. [37]

El circuito para los sensores de corriente utilizado en esta investigación esta descrito en la Figura 28, donde funciona con el transformador de corriente CR8400-1000. Este sensor crea una pequeña señal a su salida y la envía a un circuito que se compone de dos partes, en la primera parte la señal se amplifica para luego ser comparada con un voltaje de referencia en la segunda parte. Si la señal amplificada sobrepasa el voltaje de referencia el amplificador operacional presenta 5 V a su salida y el microcontrolador registra el impulso e indica que el VE se está cargando. Este es un sensor digital binario de corriente, es decir solo registra 2 estados, si está circulando corriente o no.

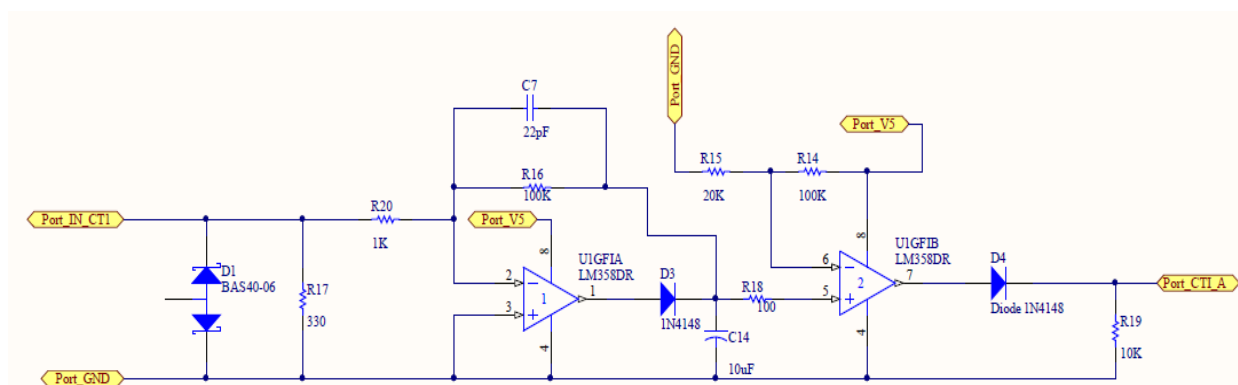


Figura 28. Sensor de corriente, pulso lógico.

Fuente: Esquema desarrollado por los autores, basado en [37]

En la Figura 29, se muestra el circuito de resistencias que adecua la señal proveniente del sensor CR8400-1000 en un intervalo de 0-5 V eliminando la simetría negativa debido a que el microcontrolador recibe señales de entrada analógicas positivas. La señal resultante en la resistencia R35 con respecto a GND es de tipo senoidal igual a la corriente alterna que recibe el vehículo eléctrico cuando está en modo carga, el

procesamiento de esta señal es útil para determinar el valor en amperios de la corriente que está ingresando al VE. Este es un sensor analógico de corriente, dependiendo de la resolución del convertidor analógico digital podemos tener entre 255 a 1023 niveles diferentes, este tipo de sensores sirve para calcular la cantidad de corriente RMS.

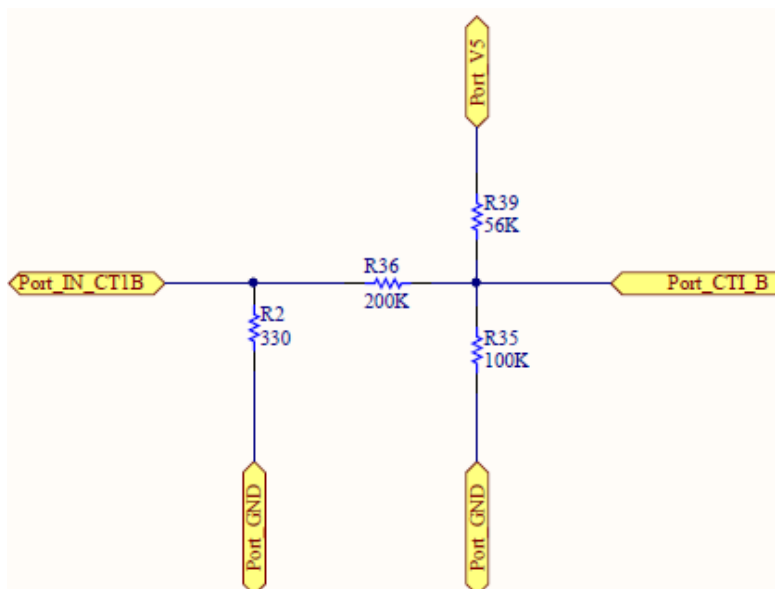
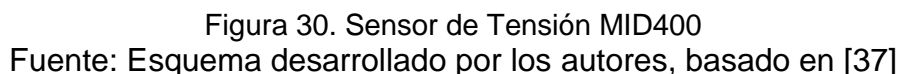


Figura 29. Sensor de corriente, muestreo de la corriente alterna.  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores, basado en [37]

### 3.1.3.2 Sensores de voltaje

Para el circuito de los sensores de voltaje se utilizan el MID400 que es un opto acoplador de línea de corriente alterna. Estos componentes fueron escogidos por su bajo consumo energético y su alta eficiencia en operación. En la Figura 30 se muestra el circuito recomendado por el fabricante para la aplicación del componente MID400, junto con las resistencias externas como de los capacitores a su salida.



### 3.1.4 Circuitos de manejo de indicadores de estados

La estación de carga necesita interruptores manuales para tener el control de ciertas acciones, por ejemplo: empezar carga (*Start*) o parar carga (*Stop*). Además, existen botones que facilitan el monitoreo de la estación de carga y la configuración de ciertos parámetros como: la hora, fecha, ciclo de trabajo, etc.

Los estados de operación de la estación de carga, se representan mediante el encendido de los diodos LED, existen tres indicadores LED de colores rojo, verde y azul que son para indicar que la estación esta lista y funcionando (Encendido), que la estación se ha conectado con el VE correctamente (Conectado) y por último que la estación de carga está entregando corriente al VE (Cargando), respectivamente.

Los circuitos para los botones y LEDs son simples de implementar. Para el circuito de los diodos LED se necesita una resistencia en serie conectada al lado del ánodo el LED. El diodo LED cuenta con dos terminales donde el lado positivo (ánodo) se conecta a la

fuentes de alimentación y el lado negativo (cátodo) se conecta al lado negativo de la fuente de alimentación. La figura 31 muestra el circuito eléctrico para los indicadores de estado tipo LEDs.

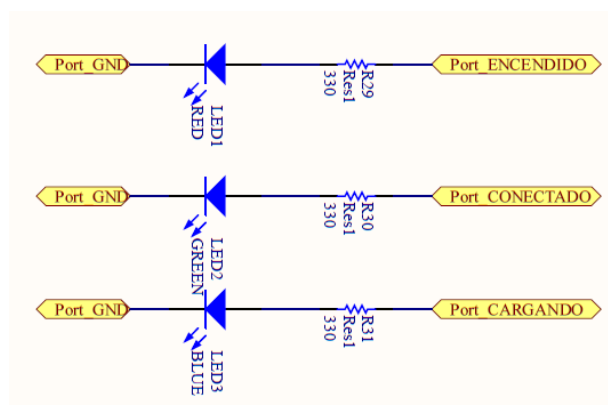


Figura 31. Circuito para indicadores de estado tipo LEDs.  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

El circuito de los botones o pulsantes es similar al de los diodos LED, solo que en este caso un extremo del pulsante es conectado al negativo de la fuente de alimentación (GND) en serie con una resistencia y ésta es conectada al lado positivo de la fuente de alimentación (+5 V), véase la Figura 32. Para eliminar el ruido generado de los circuitos pulsadores sobre el microcontrolador (dispositivo que trabaja con señales de control) se utilizó un condensador cerámico de 0.1  $\mu$ f entre el punto en que se une el terminal del microcontrolador con el pulsador y la resistencia conectada a tierra.

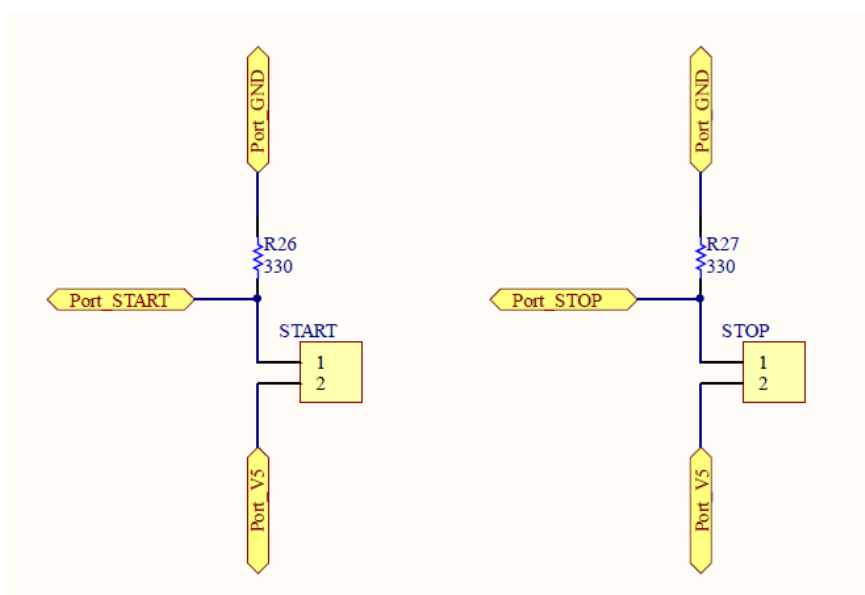


Figura 32. Circuito interfaz de pulsadores  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

### 3.1.5 Circuito de accionamiento de energía

Para permitir la circulación de energía de la fuente principal al VE, se realiza mediante un relé normalmente abierto, y es activado mediante un circuito electrónico de control que cuenta con un transistor NPN conectado en la configuración colector abierto, como se muestra en la Figura 33. Esta modalidad permite el uso de relés con corrientes pequeñas de control en su bobina y así activar los contactores del relé. El transistor es un elemento de interfaz entre el sistema de control y el sistema de potencia, actúa como un interruptor y funciona del siguiente modo: cuando por la resistencia (R21) la señal de control proveniente del microcontrolador es un bajo lógico (0 V) lo será también en el voltaje de la unión base-emisor del transistor y por lo tanto no circulará corriente entre el colector y emisor.

Para la activación del relé el transistor depende de una señal de control proveniente del microcontrolador. La señal de control es un alto lógico (5 V en CC) que ingresa por el terminal base del transistor donde dicha tensión es mayor que el umbral (0.6 V) por ende la corriente entre el colector y emisor comienza a circular, este estado se lo conoce como estado de conducción cerrando el circuito del transistor y colocando los terminales de la bobina del relé entre los terminales del positivo y negativo de la fuente de alimentación de +12 V en CC. [37]

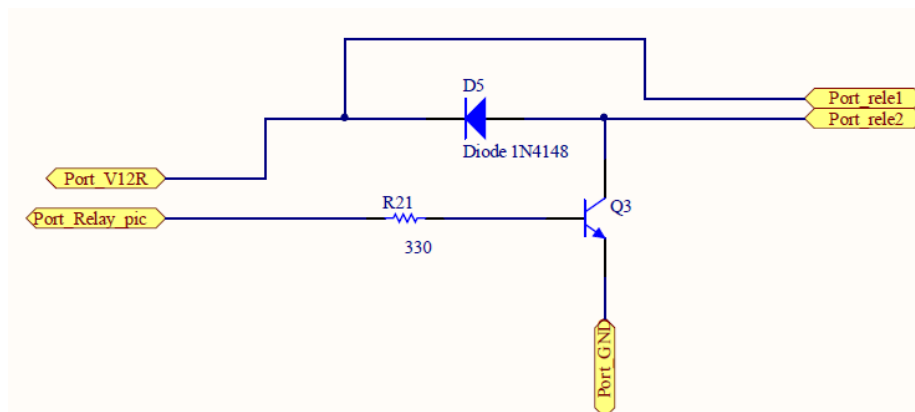


Figura 33. Circuito para la conexión de un transistor a un relé.  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores, basado en [37].

### 3.1.6 Elementos de integración con el medio IoT para la estación de carga

#### 3.1.6.1 Reloj en tiempo real RTC

Además de los componentes necesarios para la estación, se optó por implementarle un RTC (*Real Time Clock*), por cuestiones de temporizado y controles de carga. Se decidió



usar el integrado DS1307, un chip que nos ofrece la opción de contabilizar, segundos, minutos, horas, día de la semana, día del mes, y año, además, incluye con la compensación para años bisiestos válido hasta el año 2100.

Para la implementación se escogió el módulo integrado que incluye el chip, el oscilador de cuarzo la circuitería necesaria y el soporte para alimentación externa de 3.3 V, véase la Figura 34, este módulo usa el protocolo I2C para la comunicación con el microcontrolador.

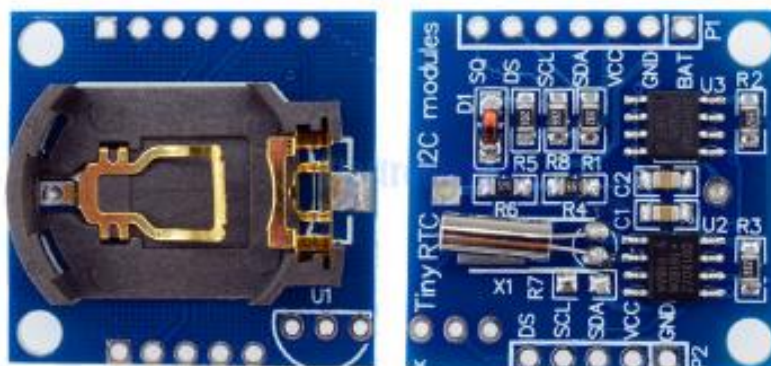


Figura 34. Módulo del integrado DS1307.

Fuente: [62], Fotografía adoptada por los autores.

La Figura 35 muestra el circuito de la conexión electrónica que necesita el módulo integrado DS1307 para la interconexión con el microcontrolador. Las resistencias R33 y R34 con un valor de 10 K ohm van conectadas a lado positivo de la fuente de alimentación (+5 V) y el otro extremo al terminal SCL y SDA para brindar una polaridad positiva en el empalme con los terminales del microcontrolador.

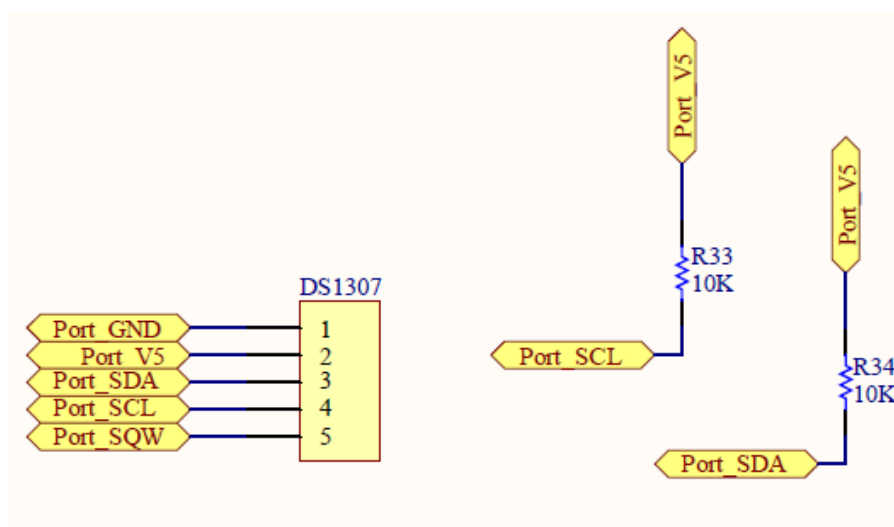


Figura 35. Circuito de la conexión del módulo integrado DS1307.

Fuente: Esquema desarrollado por los autores, basado en [37]

### 3.1.6.2 Conexión con la World Wide Web.

Comunicar la estación de carga con internet ofrece importantes posibilidades, como, por ejemplo: control a distancia, supervisión del desempeño, diagnóstico de posibles fallas, etc. Es por eso que en el diseño de la estación de carga en esta investigación propone la comunicación con Internet. Para esto se escogió una de las tecnologías más comunes y utilizadas hoy en día Wi-Fi. [48]

La seguridad inalámbrica que brinda Wi-Fi según lo establecido por WiFi Alliance [49], establece el uso del protocolo de seguridad WPA (*Wired Protected Access*). WPA usa una contraseña maestra a través del cual el sistema genera claves para cifrar el tráfico de la red, que cambiará continuamente usando el protocolo TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), el protocolo TKIP mejora el cifrado de datos inalámbricos construyendo claves de forma diferente, además las claves son eliminadas a medida que se las utiliza por el riesgo de que puedan ser descubiertas. [49] Convirtiendo al protocolo de comunicación Wi-Fi en seguro y robusto para el uso de transmisión de información. [50]

Para la implementación se dispuso de un módulo ESP 8266, estos dispositivos en la actualidad son relativamente económicos en relación a las prestaciones que nos ofrecen. El módulo se comunica con el microcontrolador usando el protocolo UART, por lo que no interfiere con el módulo RTC ya implementado. En el Capítulo 5 se detalla más a fondo los aspectos de la conexión a internet.

## 3.2 Simulaciones.

En este punto se presentan las simulaciones de los circuitos electrónicos más importantes de la estación de carga. Para analizar el comportamiento de los circuitos eléctricos presentados en el punto anterior se procede a simular cada uno de ellos. Las simulaciones se realizaron en el software *Proteus 8.0*, que es una aplicación que facilita la simulación y análisis de esquemas electrónicos.

El primer esquema que analizaremos es el circuito de la señal de piloto (Figura 27), este circuito tiene dos señales a su salida; la primera es la señal PWM que se envía al vehículo y la segunda señal es la que lee el microcontrolador, estas señales oscilan a una frecuencia de 1 KHz en un intervalo de  $\pm 12$  y 0-5 V respectivamente. La Figura 36 muestra la señal PWM con los diferentes niveles de voltaje que corresponden a los estados que se presentó en la Tabla 5 del Capítulo 2. De izquierda a derecha de la figura podemos observar en primer lugar, el estado A con una amplitud de +12V que representa que aún no se ha conectado el VE a la estación de carga, seguidamente se observa el estado B con una amplitud de voltaje de +9 V que representa que el vehículo está conectado a la estación de carga y está listo para cargar. Finalmente se muestra el estado C con una amplitud de voltaje de +6 V que significa que el vehículo eléctrico se está cargando correctamente.

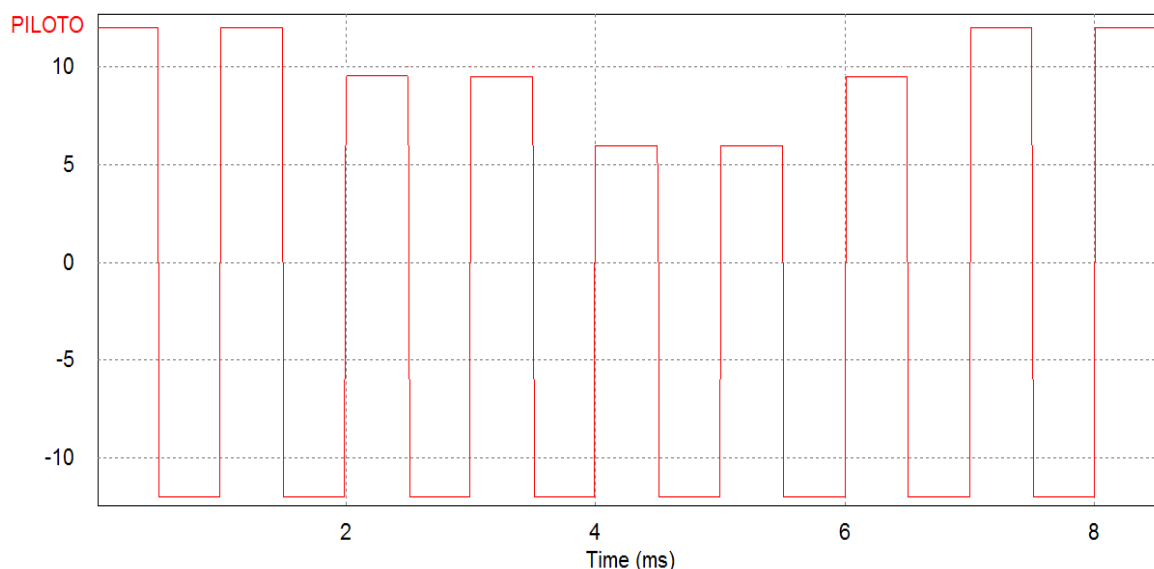


Figura 36. Señales PWM de la comunicación del piloto.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

La Figura 37 muestra los diferentes niveles de voltaje cuando se establece la comunicación entre la estación de carga y el VE. Los niveles de voltaje cambian por las resistencias en serie y en paralelo que se presentan al momento de conectar VE con la estación de carga dichas resistencias se muestran en la Figura 14.

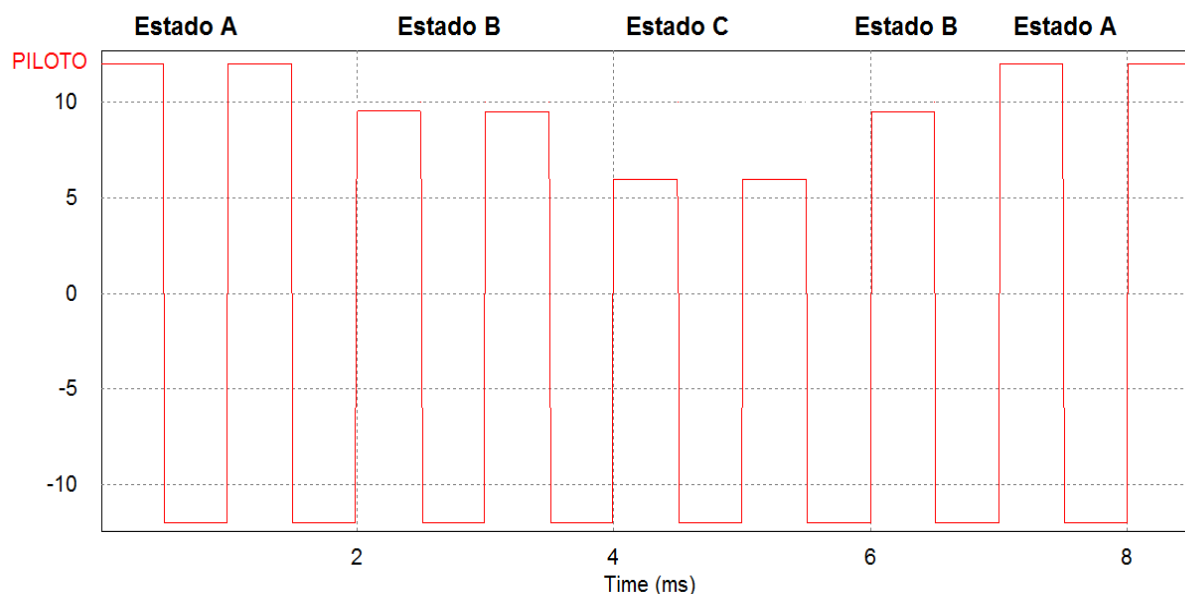


Figura 37. Niveles de voltaje en la señal PWM.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

La Figura 38 representa la operación del circuito para los sensores de corriente se distingue en un estado de aviso, es decir, cuando se detecta el paso de corriente por el transformador CR8400-1000 envía una señal al circuito (Figuras 28 y 29) donde modifica

a una señal unipolar y luego es comparada con un voltaje umbral. La figura 38 representa la corriente alterna semejante que el vehículo eléctrico consume cuando está en modo carga.

El comportamiento de los circuitos para determinar la presencia de tensión en las líneas (L1, L2) opera de igual manera que los sensores de corriente que dan un alto lógico (5 V) y un cero lógico (0 V) con y sin presencia de tensión de línea respectivamente.

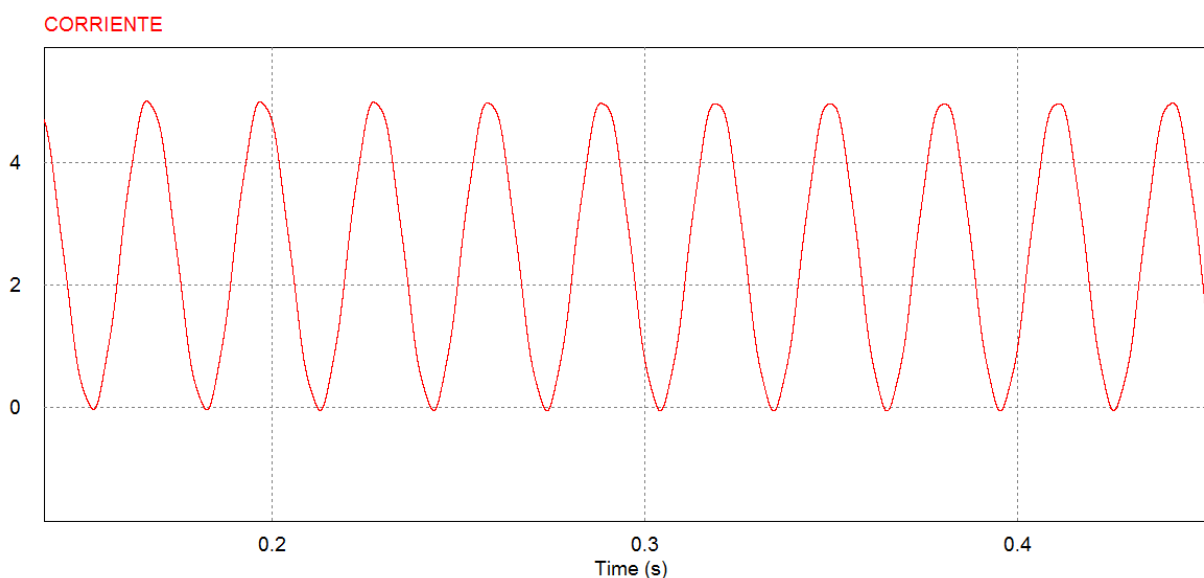


Figura 38. Señal del sensor de corriente.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

### 3.3 Diseño de la placa impresa

El diseño del circuito impreso se realizó con el uso del software *Altium Designer 16*. Dentro del mismo se elabora el diagrama esquemático donde se realiza las respectivas conexiones entre los componentes, y una extensión donde se elabora el circuito impreso con reglas de ruteo y colocación de componentes. [51]

El diseño del circuito impreso se desarrolló considerando la naturaleza de las señales a procesar, colocando los componentes de una forma específica y ordenada para evitar interferencias entre pistas. Las señales analógicas pueden ser afectadas por la interferencia generada por las señales digitales, con el fin de reducir estas interferencias en el circuito impreso se ha tomado en cuenta las siguientes premisas de diseño:

- **Plano de masa.**

Los planos de tierra o masa en circuitos impreso poseen reactancias parasitas que generan ruido, el ruido generado puede afectar el funcionamiento de los componentes

mediante la conexión a tierra. Para evitar estos inconvenientes se debe tomar en cuenta los siguientes puntos: [52]

1. Las corrientes deben retornar a la fuente de alimentación de forma local lo más compacta posible.
2. El circuito impreso debe tener un solo plano de referencia, caso contrario con la existencia de dos o más se crea una antena dipolo.

- **Características físicas y de ruteo de pistas.**

Las pistas en un circuito impreso tienen características resistivas e inductivas, mismas que dependen del largo, ancho y grosor de la pista. La cercanía de las pistas puede generar un acople indeseado (*crosstalk*), para evitar el *crosstalk* el grosor de pista debe ser de 0.254 mm con un *clearance* de 0.28 mm. Los componentes están agrupados según las señales a procesar esto para reducir la distancia de las pistas que a su vez reduce los efectos parásitos resistivos e inductivos. [53]

- **Interconexión entre capas de la placa impresa.**

Las vías son perforaciones en la placa que permite la conexión eléctrica entre pistas de diferentes capas. Las vías pueden tomar el comportamiento de capacitores como inductores cuando tienen una perforación menor a lo establecido, pero en el caso de este diseño la velocidad de operación tiene como frecuencia máxima de 1 KHz y la mínima de 60 Hz. Por lo tanto, las vías no tomarán el comportamiento mencionado. [53]

- **Circuitos generadores de base de tiempo (Cristales).**

El uso de los cristales de cuarzo en los circuitos impreso pueden ser una fuente de ruido para el resto de componentes es por eso que se recomienda ubicar al oscilador lo más cerca posible del componente que lo utiliza. Para evitar posibles ruidos con las pistas cercanas es recomendable cortar el plano de masa alrededor del oscilador como de los capacitores. [53]

### 3.4 Montaje de la placa PBC

Como se mencionó en el punto anterior el software *Altium Designer 16* genera dos sub-programas uno el esquemático y otro con el circuito impreso. La figura 39 muestra el esquemático con todos los componentes respectivamente conectados entre sí.

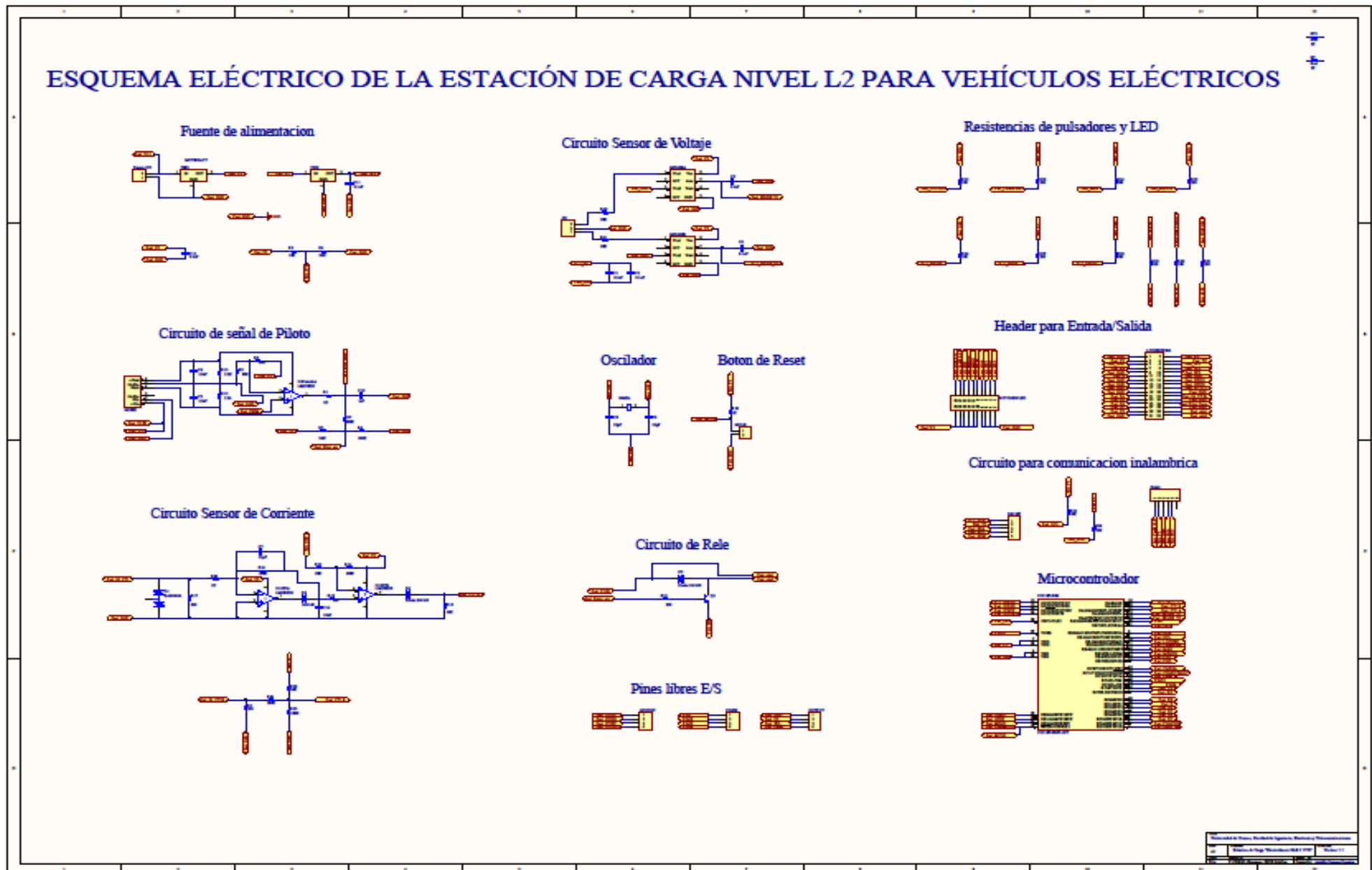


Figura 39. Esquema eléctrico de la estación de carga nivel L2 para vehículos eléctricos.



La Figura 40 muestra el *Component Side* (capa de componente) y *Bottom Layer* (capa inferior) del circuito impreso de izquierda a derecha respectivamente.

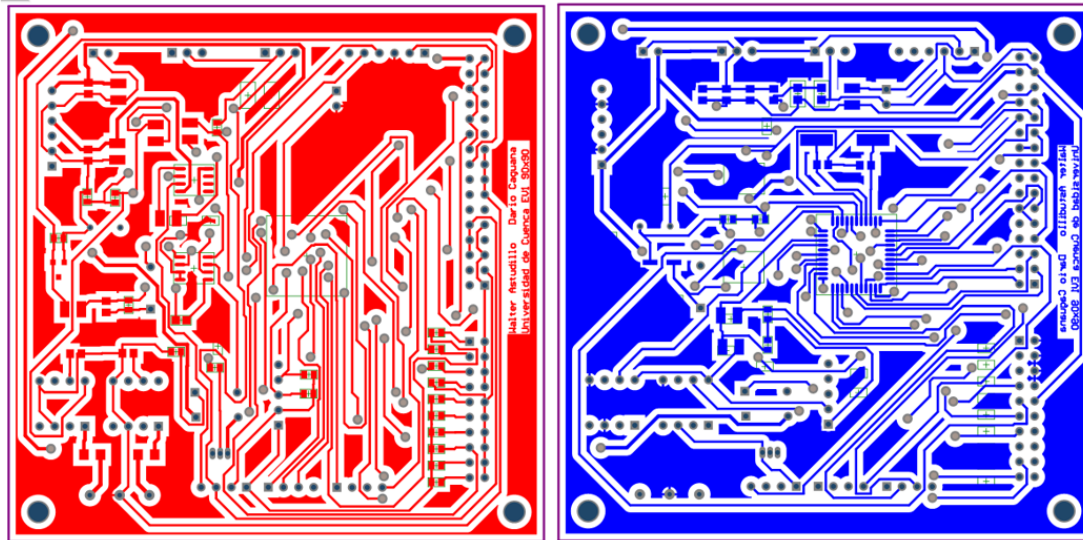


Figura 40. Component Side y Bottom Layer del circuito impreso.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

En *Component Side* es donde están ubicados la mayoría de componentes de superficie, además se tiene componentes de agujero pasante. Se usó la tecnología de agujero pasante para crear, puentes eléctricos entre una de las caras de la placa de montaje a la otra. Las dimensiones de la placa son de 9 cm de ancho y de 9 cm de largo. La Figura 41 muestra el aspecto final del circuito impreso con el *Component Side* y el *Bottom Layer* juntos.

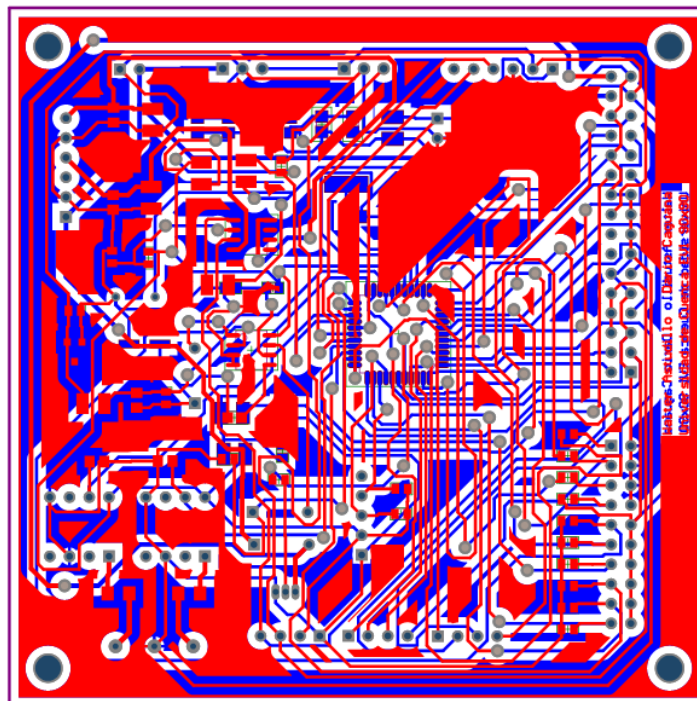


Figura 41. Aspecto final del circuito impreso.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

Tras un proceso de fabricación de la placa PBC, esta luce como se muestra en la Figura 42. La placa PBC está dividida en grupos con el fin de tener una menor distancia entre las pistas

de componente a componente. El microcontrolador se colocó en la parte central de la placa ya que la mayoría de conexiones están asociadas a este componente.

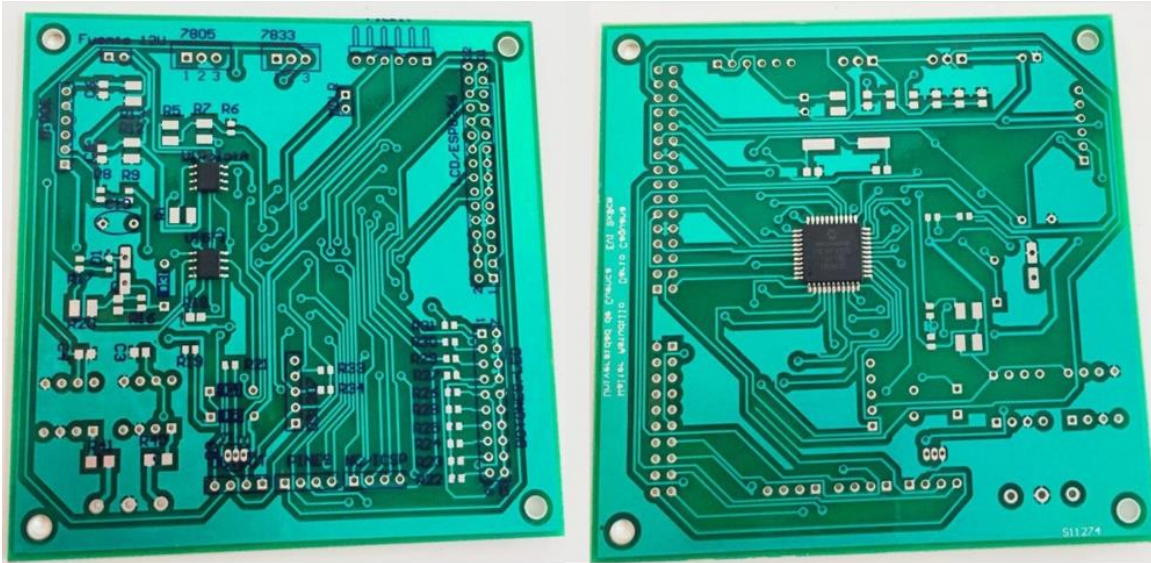


Figura 42. Aspecto final de la placa PBC.  
Fuente: Fotografía tomada por los autores.

El siguiente paso es soldar todos los componentes, primero procedemos a soldar los componentes más pequeños y así hasta soldar los componentes de mayor tamaño. Para evitar daños sobre los componentes de montaje superficial el proceso de soldadura se realiza siguiendo los pasos del video presentado en [54] que explica la mejor forma de soldar componentes de montaje superficial. La figura 43 muestra la placa terminada con todos los componentes electrónicos soldados. De izquierda a derecha de la figura podemos observar.

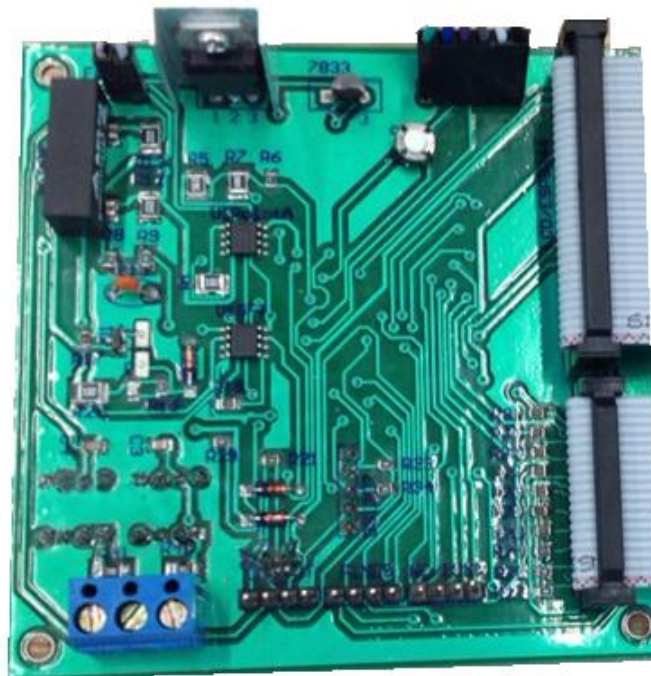


Figura 43. Aspecto final del circuito impreso.  
Fuente: Fotografía tomada por los autores.



El montaje de todos los elementos y componentes electrónicos y eléctricos de la estación de carga se muestra en la Figura 44. La estación cuenta con un *breaker* de 50 A que nos ayuda a proteger los circuitos contra cortos y sobre cargas, se conectan en serie con el circuito al ingreso de las líneas de corriente alterna (L1, L2).

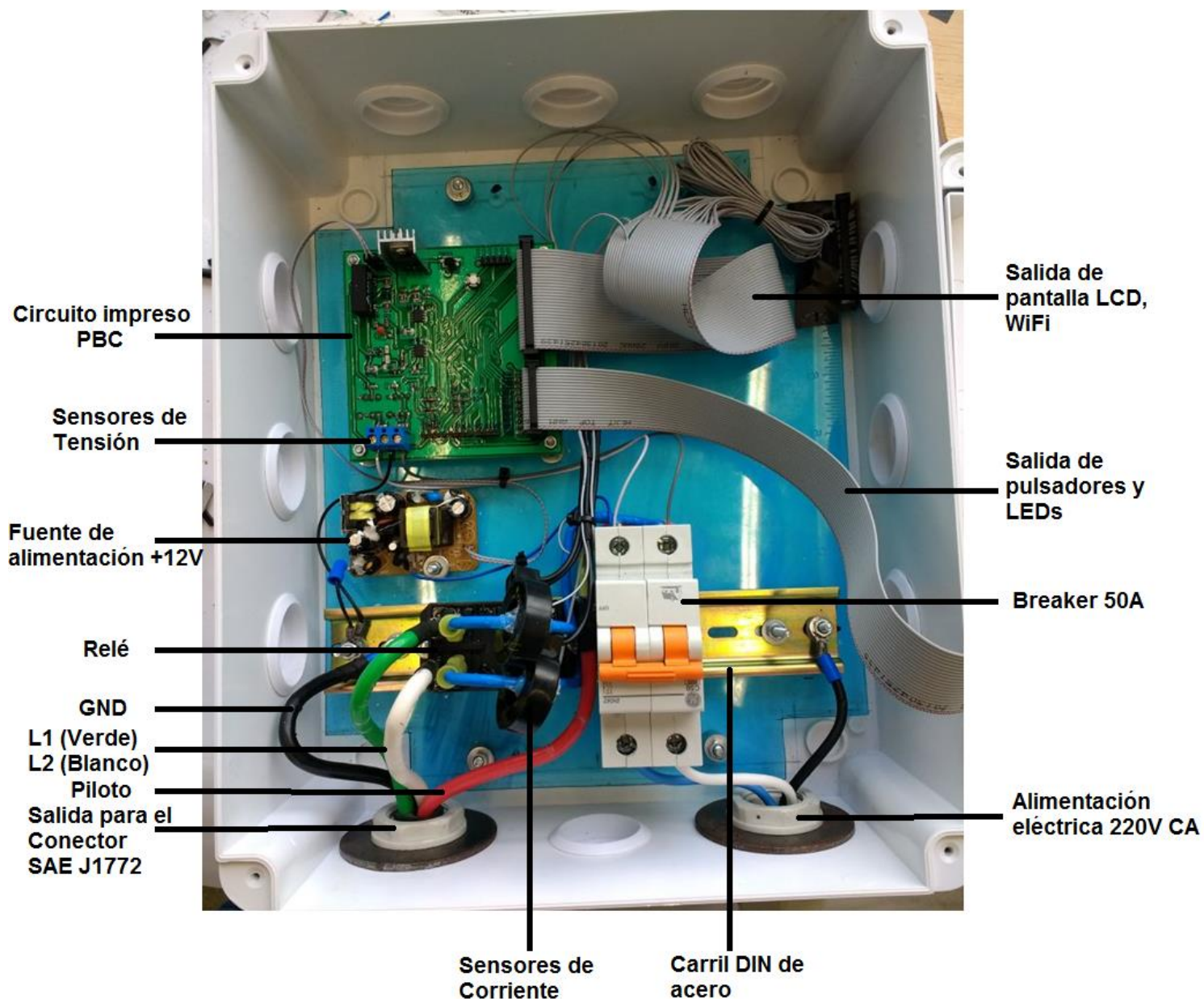


Figura 44. Aspecto final de la estación de carga con todos sus componentes.  
Fuente: Fotografía tomada por los autores.

## Capítulo 4

### Pruebas de funcionamiento de la estación de carga

Con el circuito electrónico impreso y montado en placa PBC, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento. Es necesario hacer un análisis general del desempeño de todos los circuitos diseñados del Capítulo 3.

#### 4.1 Pruebas de funcionamiento de la estación de carga

Las pruebas que se realizaron para verificar el correcto funcionamiento de la estación de carga se realizó en el LABORATORIO DE MICRORREDES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, CAMPUS BALZAY obteniendo resultados en las diferentes etapas del sistema.



Figura 45. Vehículo eléctrico Kia Soul EV 2016.  
Fuente: Fotografía tomada por los autores.

Las mediciones se realizaron utilizando el VE propiedad de la Universidad de Cuenca, para realizar las diferentes mediciones se utilizaron varios dispositivos electrónicos: multímetro, osciloscopio, sonda de corriente y un analizador de calidad eléctrica.



Figura 46. Analizador de calidad eléctrica de marca Fluke 435 Serie III.  
Fuente: Fotografía tomada por los autores.



Figura 47. Sonda de corriente modelo TCPA300 marca tektronix.  
Fuente: Fotografía tomada por los autores.





Figura 48. Osciloscopio modelo TDS 1002B marca Tektronix.  
Fuente: Fotografía tomada por los autores.



Figura 49. Multímetro digital.  
Fuente: Fotografía tomada por los autores.

La metodología utilizada en el proceso de pruebas es la siguiente:

Comprobación del funcionamiento de cada circuito y componente de manera individual, para evitar que posibles errores sean enviados al controlador y éste genere un funcionamiento inadecuado o incorrecto.

Luego se realizaron pruebas en conjunto con la estación integrada, para identificar posibles errores que surjan.

#### 4.1.1 Prueba de funcionamiento: Circuito para la señal de piloto

En un principio se realizó la prueba de la señal piloto, quizá éste es el circuito de mayor importancia debido que es el medio de comunicación entre el VE y la estación de carga, por ende, las acciones que ejecute el controlador dependen del funcionamiento de la señal de piloto. La Figura 50 muestra los estados descritos en el Capítulo 2, los estados A, B y C.

Para esta prueba se utilizó el osciloscopio en su modo de adquisición “Buscar máximos”, por el motivo de que la captura tuvo una duración de 1 minuto y 30 segundos y como la señal de piloto posee una frecuencia de 1 KHz, se presentaban problemas de Aliasing. En las Figuras 51, 52 se observa el comportamiento de cada estado con mayor detalle.

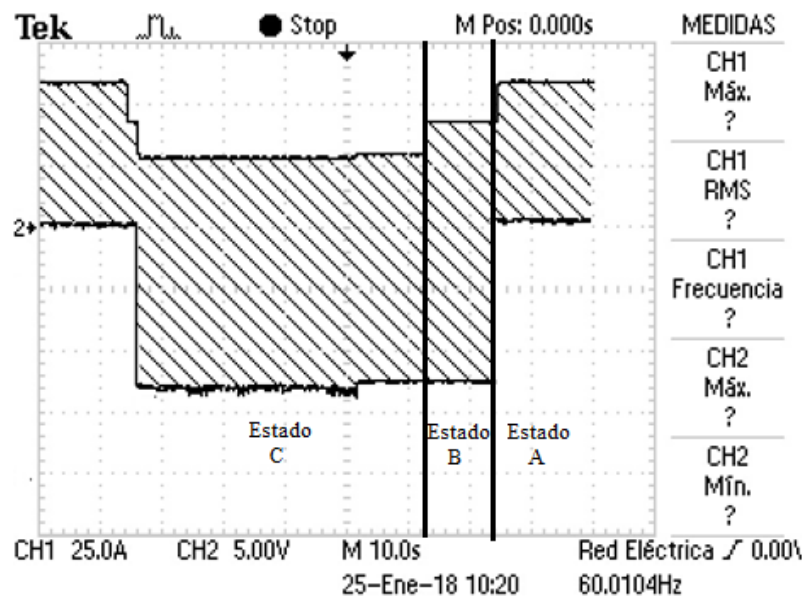


Figura 50. Señal de piloto transición entre los estados A, B y C.

Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

Las Figuras 51 y 52 muestran la señal de piloto en el estado B y C respectivamente.

En la Figura 51 se observa los niveles máximos y mínimos correspondientes. El estándar de los VE define el nivel para el estado B esta entre +9/-12 V con +-1 V de error permitido.

Los resultados obtenidos para la señal de piloto en el estado B son +8.80/-12.4 V, los cuales están dentro de los niveles permitidos. De manera similar la Figura 52 nos brinda resultados positivos para el estado C de la señal de piloto, los niveles máximos y mínimos son +5.60/-12.2 V, los cuales de igual forma están dentro de lo establecido.

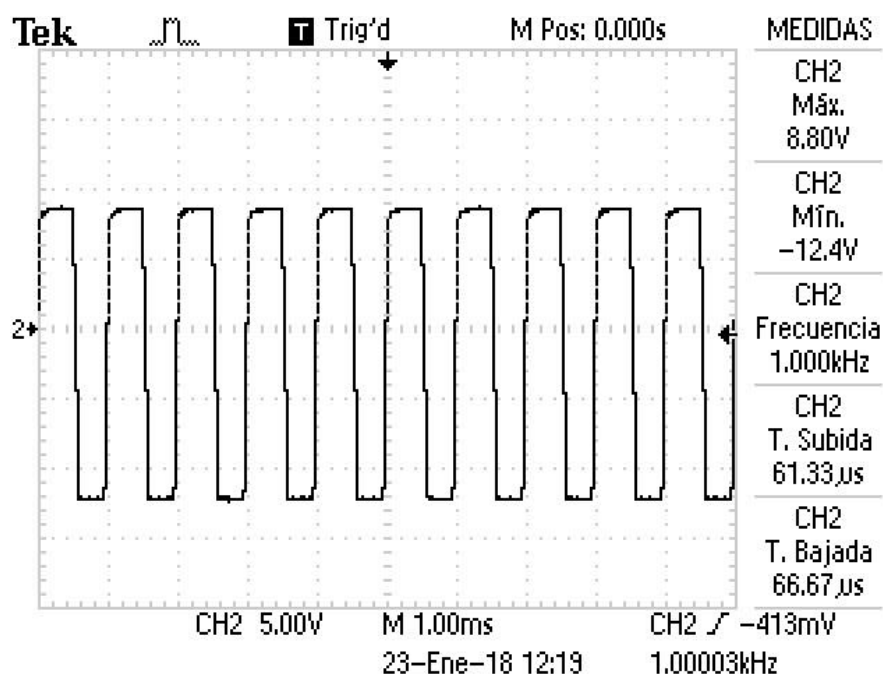


Figura 51. Estado B del piloto.

Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

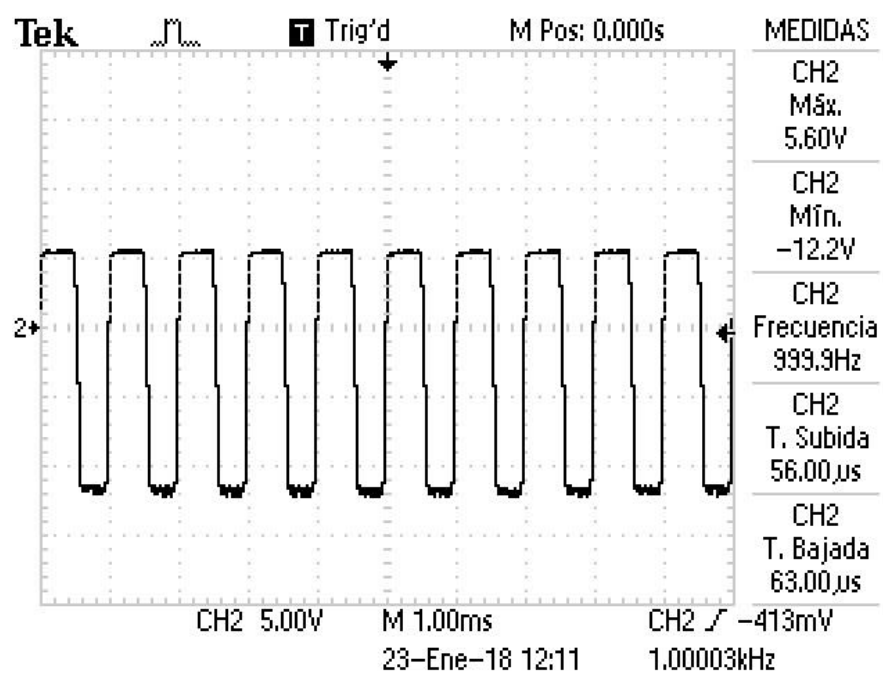


Figura 52. Estado C del piloto.

Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

## 4.1.2 Prueba de funcionamiento: Circuito de sensores

### 4.1.2.1 Sensor de tensión.

La Figura 53 muestra la señal de salida generada por los sensores MID400 al momento de detectar la presencia de tensión de línea (L1, L2), esta señal es enviada al microcontrolador el cual interpreta que la estación de carga cuenta con tensión en las dos líneas. El microcontrolador interpreta los niveles de voltaje con un alto lógico (5 V) que existe tensión de línea y un bajo lógico (0 V) cuando no existe tensión de línea. Como podemos ver la transición entre un nivel alto y uno bajo es algo lento, hablamos de 100 milisegundos en el flanco de bajada y unos 250 milisegundo para el flanco de subida, pero para el funcionamiento de la estación es más que aceptable.

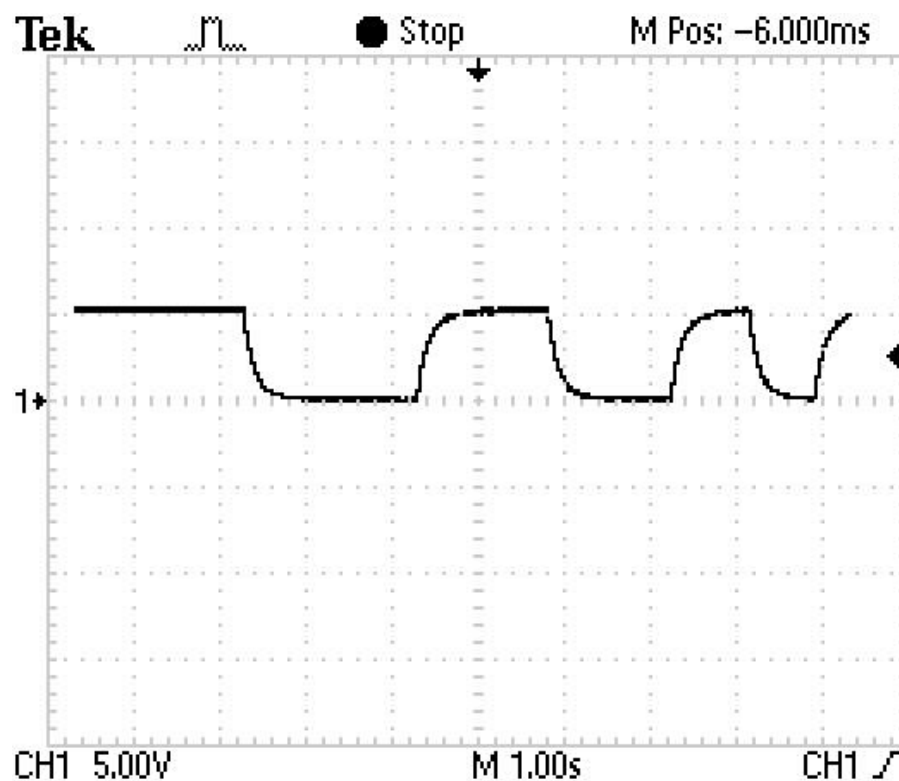


Figura 53. Señal de salida de uno de los sensores MID 400.

Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

### 4.1.2.2 Sensores de Corriente

Tal y como definimos antes la estación cuenta con dos tipos de sensores: un sensor digital que indica si la corriente circula y uno analógico que indica la cantidad de corriente que está circulando hacia la estación.

Las Figuras 54 y 55 muestran dos señales que representan la corriente eléctrica, la señal de la Figura 55, proviene del sensor y es equivalente a la señal de corriente que circula hacia el vehículo, como se aprecia esta no puede ser ingresada al microcontrolador porque su amplitud sobre pasa los 5V en CC admitidos en las entradas analógicas, además que la señal no debe tener muestras negativas. Para solucionar estos problemas se diseñó el circuito de

acondicionamiento de señal, y el resultado se muestra en la Figura 55. Se observa que la señal presenta un rango de 5v unipolar.

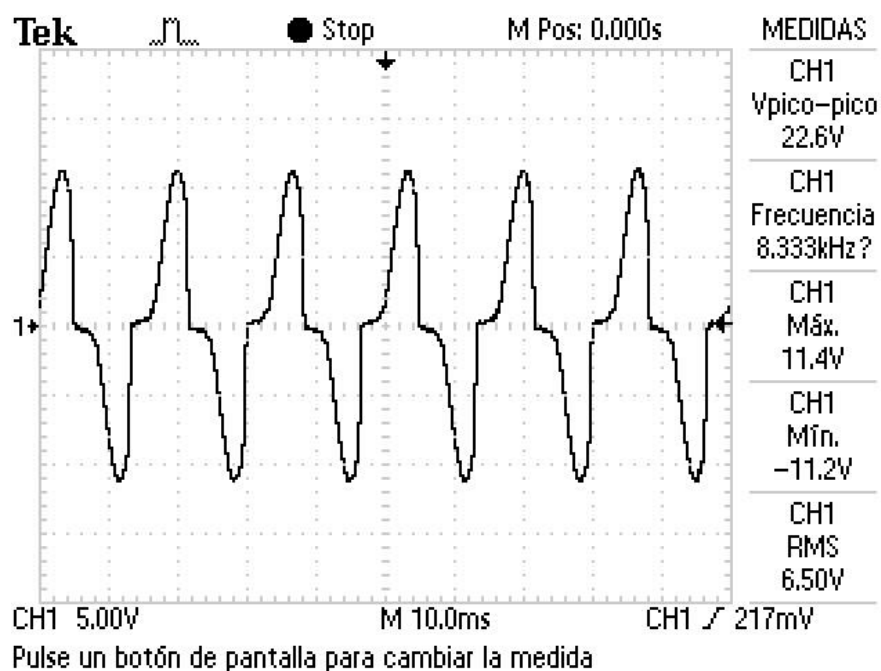


Figura 54. Señal obtenida en el sensor de corriente.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

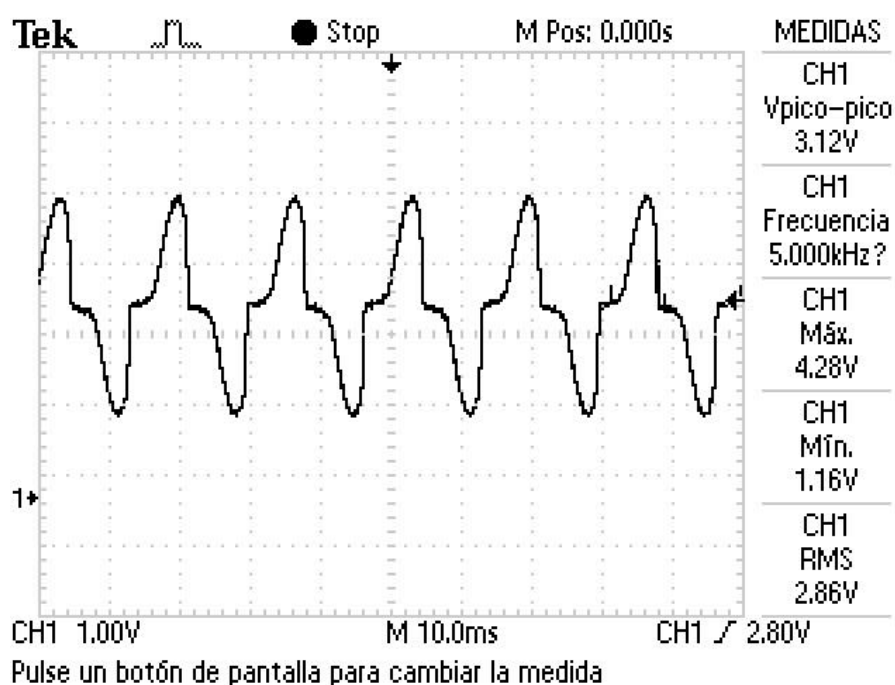


Figura 55. Señal que ingresa al microcontrolador.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.



### 4.1.3 Prueba de funcionamiento: Relés

Las pruebas sobre el Relé, como se ve en la Figura 56, consisten, básicamente en activar o desactivar el circuito y observar cómo se comporta la corriente que fluye hacia el vehículo. El osciloscopio tiene el canal 1, una sonda de corriente que mide la corriente que fluye hacia el vehículo y en el canal 2 la señal de activación del Relé que es de 12 V. Como se observa al momento de activar el relé, la corriente no fluye inmediatamente debido a que el VE abre su relé tres segundos después. También se puede observar que la corriente empieza a fluir de manera paulatina hasta alcanzar el pico. Cuando el Relé se desactiva la corriente deja de fluir inmediatamente.

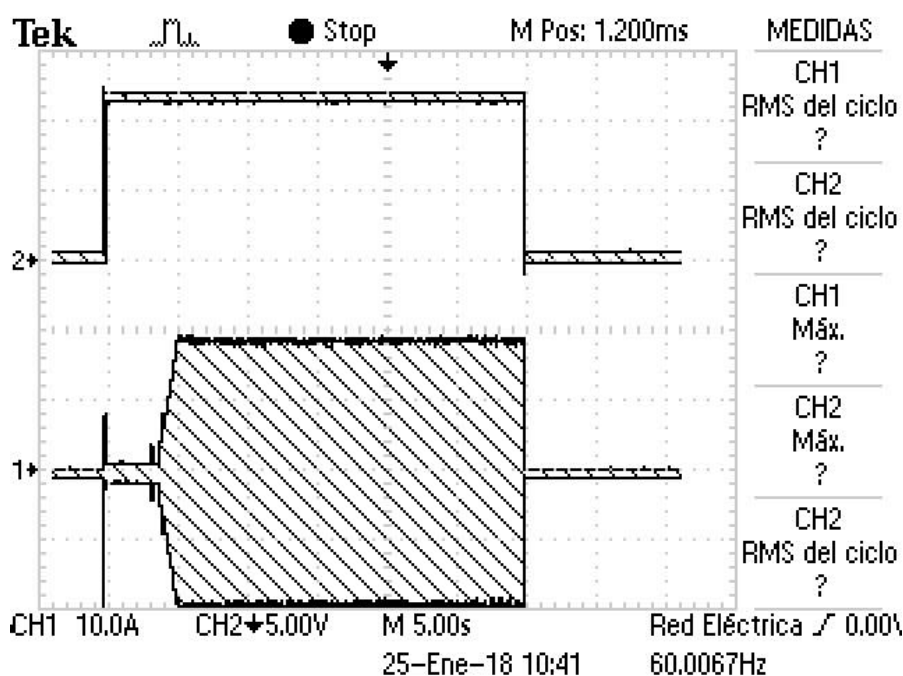


Figura 56. Activación del Relé permitiendo el paso de corriente al vehículo.

Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

### 4.2 Pruebas de la estación de carga

Una vez que se aseguró el correcto funcionamiento de cada uno de los bloques que componen la estación, es momento de hacer pruebas de la estación completa, y la única forma de lograr esto es realizando cargas sobre un VE.

Las pruebas sobre el funcionamiento de la estación de carga, se dividieron en 3 grupos:

- Pruebas de corta duración.
- Pruebas de mediana duración.
- Pruebas de larga duración.

Cada grupo de pruebas, además de variar el tiempo de carga, sirvieron para observar diferentes parámetros y comportamientos de la estación de carga.

### 4.2.1 Pruebas de corta duración

En las pruebas de corta duración se realizaron varios procesos de carga de entre 5 y 15 minutos. Estas pruebas tenían la finalidad de ver el funcionamiento colectivo de los circuitos que conforman la estación, también asegurar que los pulsantes y dispositivos de salida trabajen correctamente y; hallar errores en el código de programación. Estas pruebas se realizaron sin equipo adicional además de la estación de carga y el VE debido a que solo se busca comprobar el funcionamiento.

En la primera prueba se procedió a conectar el vehículo a la estación, e iniciar y detener el proceso de carga en varias ocasiones. El objetivo principal es observar el comportamiento de la señal de piloto, en la transición de estados B y C.

La Figura 57 muestra como la señal de piloto cambia del estado B, al estado C (parte superior de la imagen), además se observa como la corriente comienza a circular luego de un retardo de aproximadamente 5 segundos (parte inferior de la imagen).

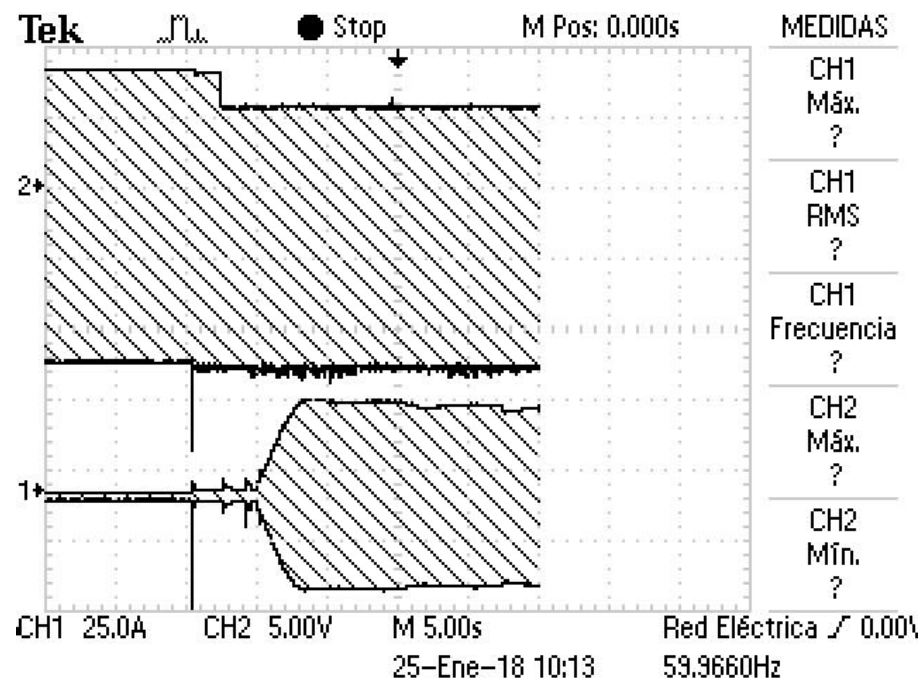


Figura 57. Señal de piloto cuando la carga comienza.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

La Figura 58, por su parte muestra el caso de desconexión, como la señal de piloto cambia del estado B al estado C luego que la corriente deja de fluir, además se muestra que luego de que la corriente deja de fluir pasan 10 segundos para que el vehículo actualice su estado.

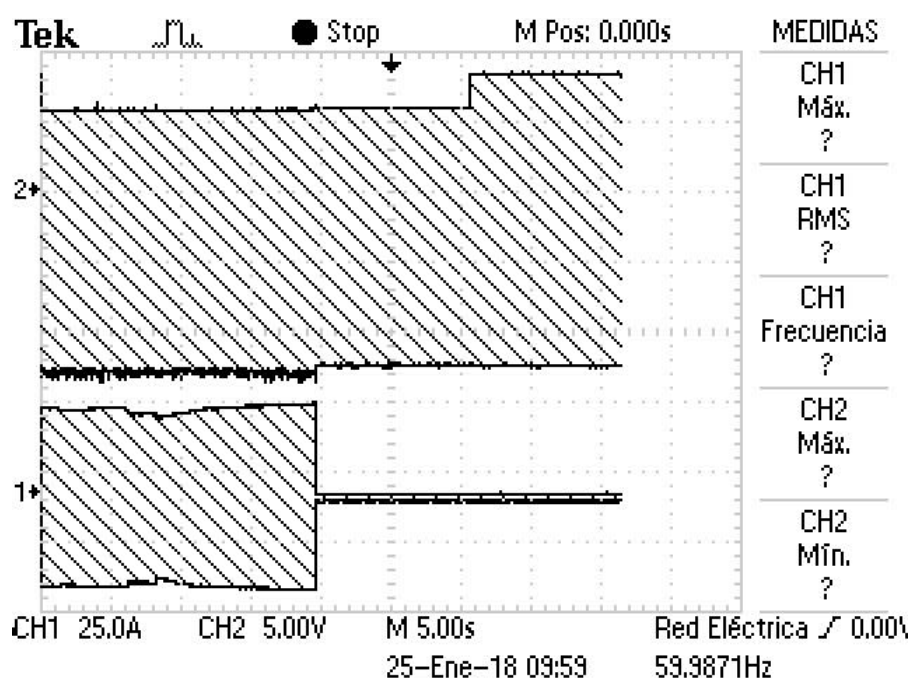


Figura 58. Señal de piloto cuando la carga se termina.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

Los retardos que se observan al inicio y al final de un proceso de carga vienen dados por el VE, y son parámetros de seguridad.

Otro aspecto verificado en las pruebas de corta duración, es el funcionamiento de los botones de Inicio y Parada con los que cuenta la estación. La prueba básicamente consiste en iniciar y detener el proceso de carga con los pulsadores. La Figura 59, muestra como luego de pulsar un botón la carga inicia 8 segundos después; mientras que al pulsar un botón diferente el flujo de corriente se detiene inmediatamente.

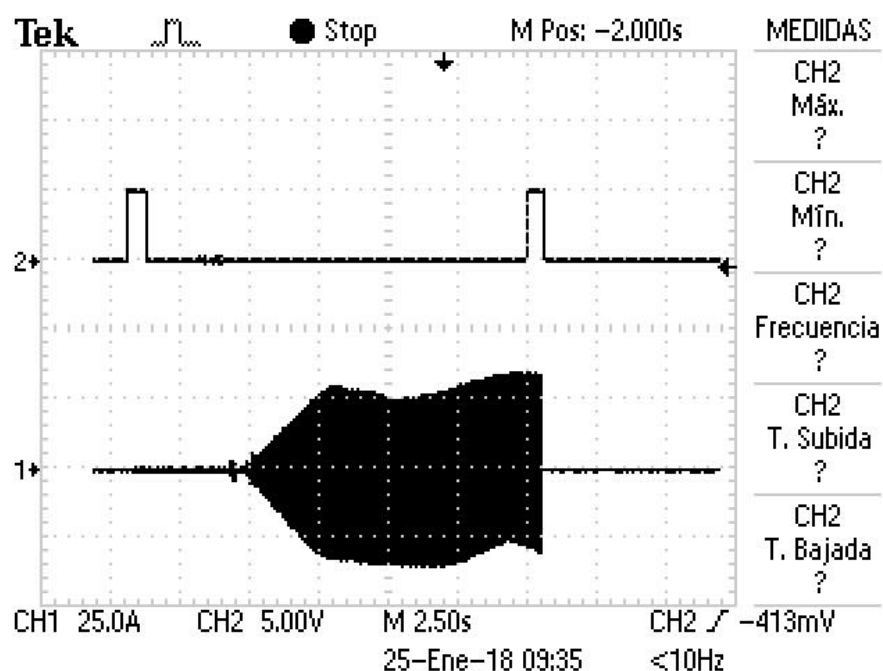


Figura 59. Flujo de corriente en función de los botones *Start/Stop*.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

## 4.2.2 Pruebas de mediana duración

Para las pruebas de mediana duración, se realizaron sesiones de carga de una hora, para estas se utilizaron distintos ciclos de servicio de la señal de piloto. En total se registraron 5 procesos de carga, cada proceso tenía un ciclo de trabajo que variaba entre 20 y 60 por ciento. Para este tipo de pruebas los equipos utilizados fueron un osciloscopio Tektronix y una sonda de corriente.

Estas pruebas tuvieron la finalidad de medir la corriente que fluye hacia el vehículo para cada ciclo de trabajo, esto para medir la potencia instantánea con la que el VE se está cargando. Las Figuras 60, 61, 62, 63 y 64 muestran la corriente real vs la corriente medida por el sensor de la estación. En cada una de las Figuras mencionadas la señal del canal 1 (parte inferior de la imagen) representa la corriente real medida por la sonda de corriente mientras que en el canal 2 (parte superior de la imagen) se puede observar la señal a la salida del sensor, un voltaje proporcional a la corriente que está circulando.

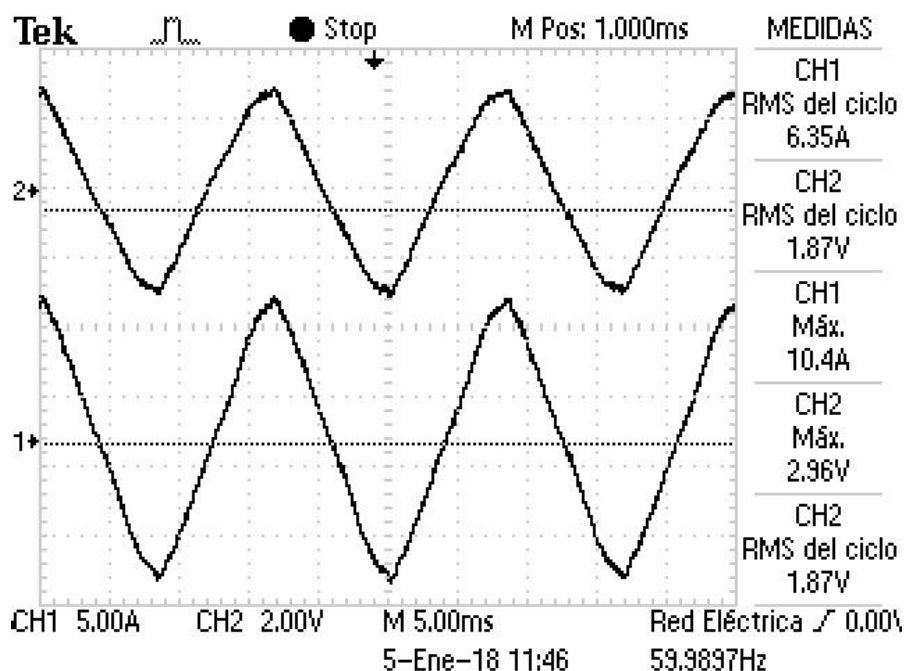


Figura 60. Corriente que fluye hacia el EV con un ciclo de trabajo de 20 %.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

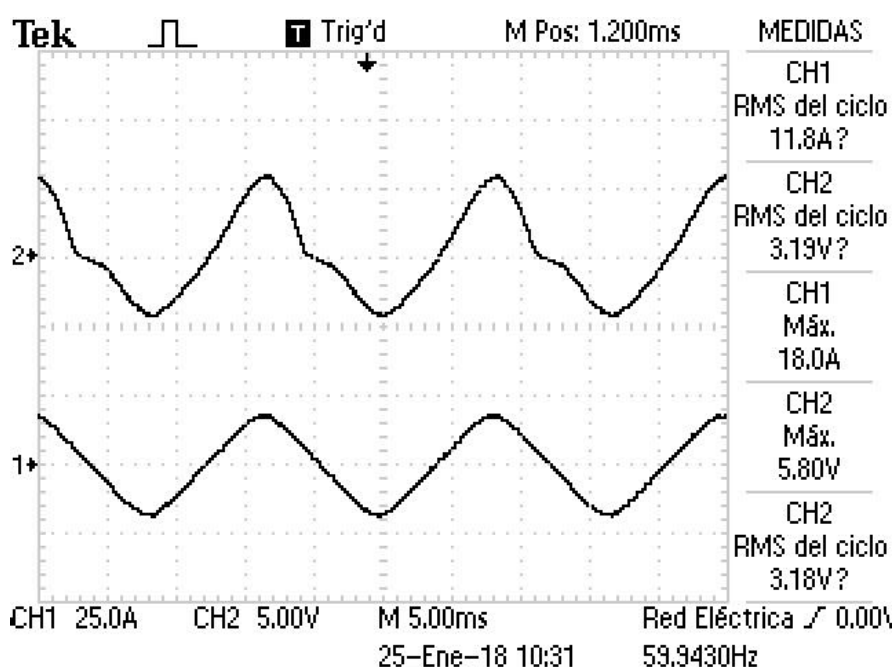


Figura 61. Corriente que fluye hacia el EV con un ciclo de trabajo de 30 %.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

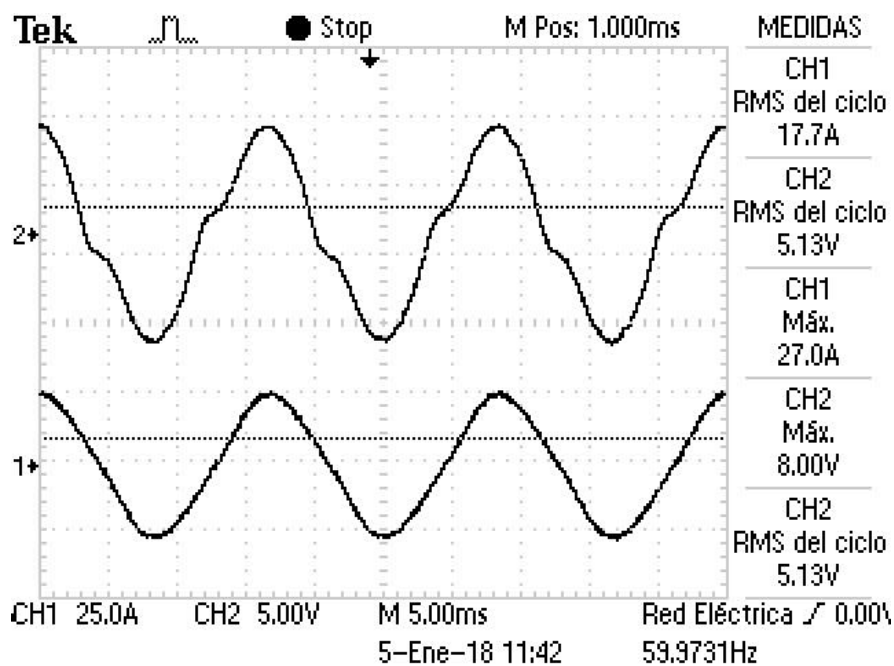


Figura 62. Corriente que fluye hacia el EV con un ciclo de trabajo de 40 %.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

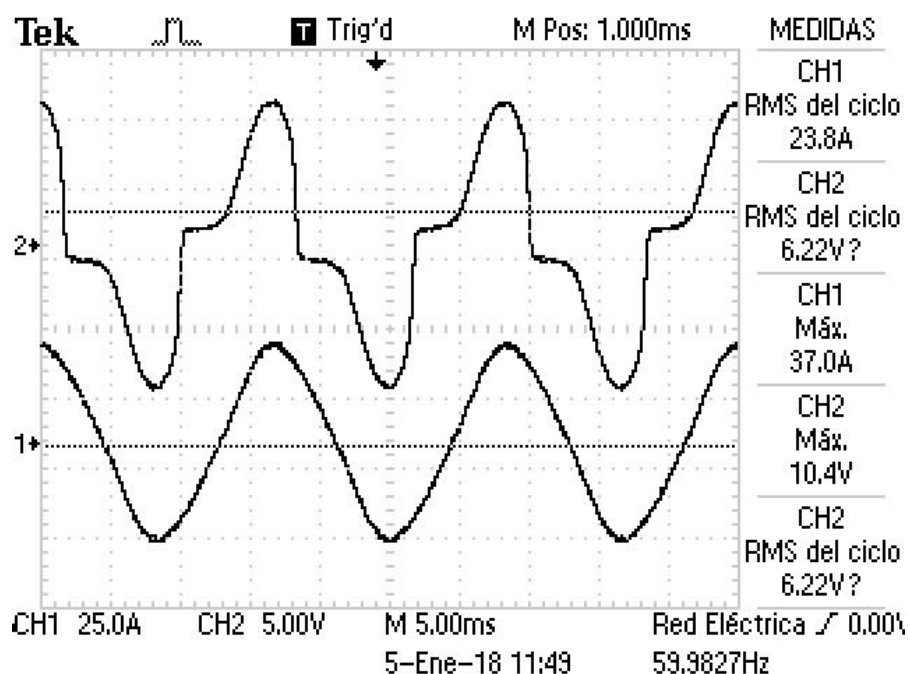


Figura 63. Corriente que fluye hacia el EV con un ciclo de trabajo de 50 %.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

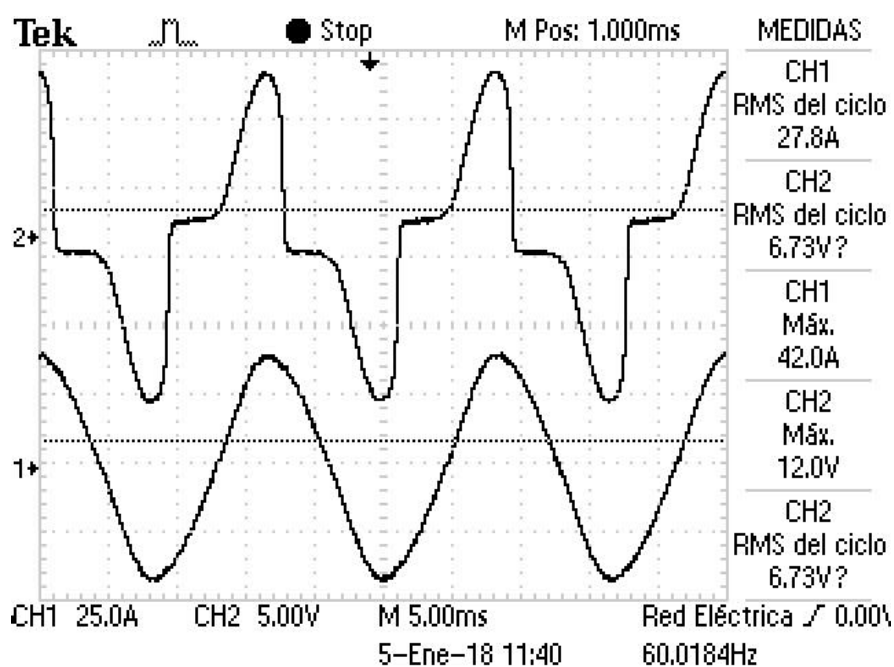


Figura 64. Corriente que fluye hacia el EV con un ciclo de trabajo de 60 %.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

Las 5 pruebas fueron registradas y cargaron las baterías del vehículo desde el 20% hasta un 88%, en un lapso de 5 horas, todas las mediciones registradas se detallan en la Tabla 11. El estado de carga (SOC del inglés *State of Charge*) que se registro es el que indicaba la pantalla en el tablero del VE.



Tabla 11. Datos de las pruebas de mediana duración.

Ciclo de trabajo	Tiempo de carga (min)	SOC inicial (%)	SOC final (%)	Porcentaje Cargado (%)
20	60	20	24	4
30	60	25	33	8
40	60	34	46	12
50	60	47	64	17
60	60	65	88	23

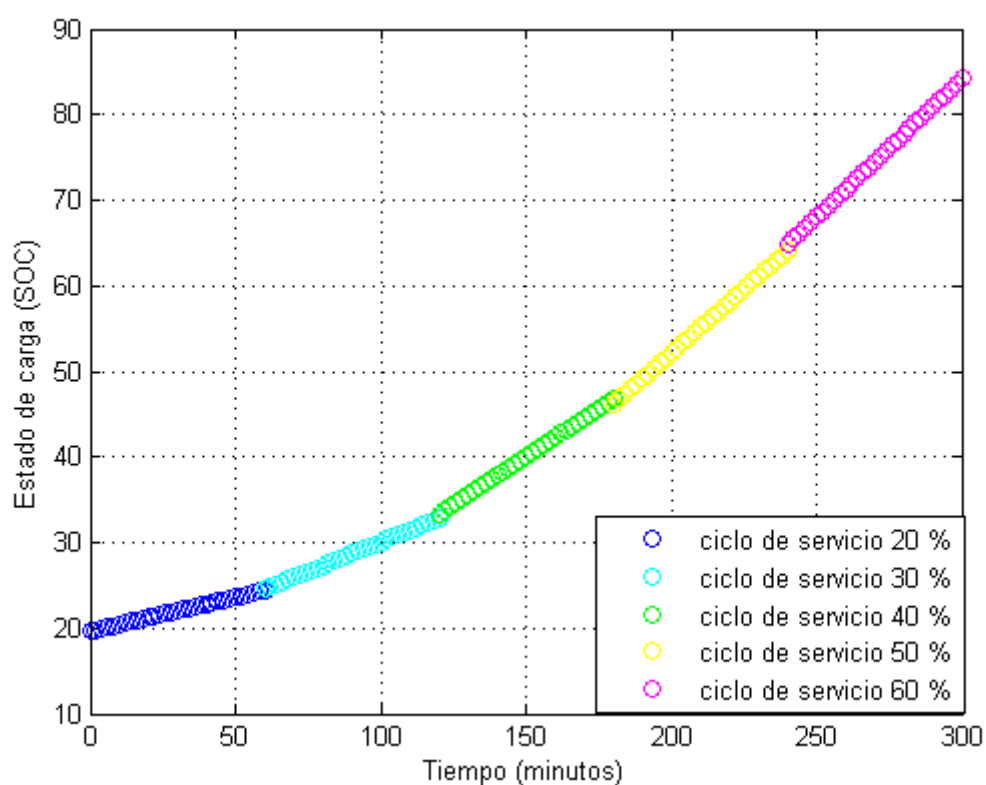


Figura 65. Resultados obtenidos en las pruebas de mediana duración.

Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

Durante las pruebas se compararon las mediciones de corriente que proporciona el osciloscopio con la aproximación realizada por el microcontrolador, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 12. Los resultados son aceptables debido a que el error relativo máximo no supera el 2%.

Tabla 12. Comparación entre corriente medida y calculada por el microcontrolador.

Corriente Real	Corriente Calculada	Error Relativo %
6.36 A	6.27 A	1.41
11.73 A	11.64 A	0.76
17.67 A	17.99 A	1.81
23.75 A	23.78 A	0.12
27.78 A	27.84 A	0.21

Con la corriente obtenida y asumiendo que la tensión de la línea es constante podemos calcular la potencia instantánea de acuerdo con la ecuación 11.

$$P(t) = V(t) \times I(t) \quad (11)$$

La potencia fue calculada para cada uno de los ciclos de servicio y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Potencia instantánea por cada ciclo de trabajo.

Ciclo de trabajo	Tensión de línea	Corriente RMS	Potencia instantánea
20 %	208 V	6.27 A	1.32 KW
30 %	208 V	11.64 A	2.45 KW
40 %	208 V	17.99 A	3.68 KW
50 %	208 V	23.78A	4.95 KW
60 %	208 V	27.84 A	5.78 KW

Si asumimos que la potencia instantánea es constante durante cada proceso de la carga, entonces podemos obtener la energía que fluye hacia las baterías del vehículo. Tal como se muestra en la Figura 66.



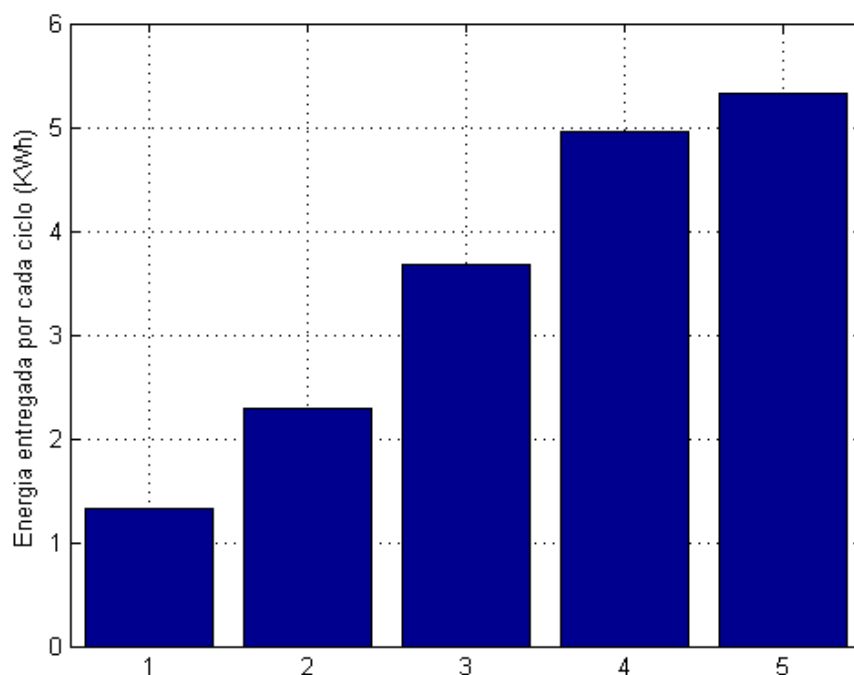


Figura 66. Energía entregada por la estación para cada ciclo de trabajo.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

Por último, se calculó el tiempo que le llevaría a la estación cargar las baterías del vehículo al 100 % para cada ciclo de trabajo. El tiempo ( $t$ ) se calculó con la ecuación 12 la cual es la fórmula para calcular la potencia. De ahí despejamos el tiempo, ecuación 13.

$$P = \frac{W}{t} \quad (12)$$

$$t = \frac{W}{P} \quad (13)$$

Si tenemos en cuenta que la capacidad total de las baterías es de 27.5 KWh y la potencia de cada ciclo (Tabla 13), entonces podemos obtener el tiempo en horas para una carga completa con diferentes ciclos de trabajo, véase la Tabla 14.

Tabla 14. Tiempo estimado de carga completa por ciclo de trabajo.

	Ciclo de trabajo	Potencia	Tiempo aproximado (Horas)
1	20 %	1.32 KW	20:50
2	30 %	2.45 KW	11:13
3	40 %	3.68 KW	7:28
4	50 %	4.95 KW	5:33
5	60 %	5.78 KW	4:45

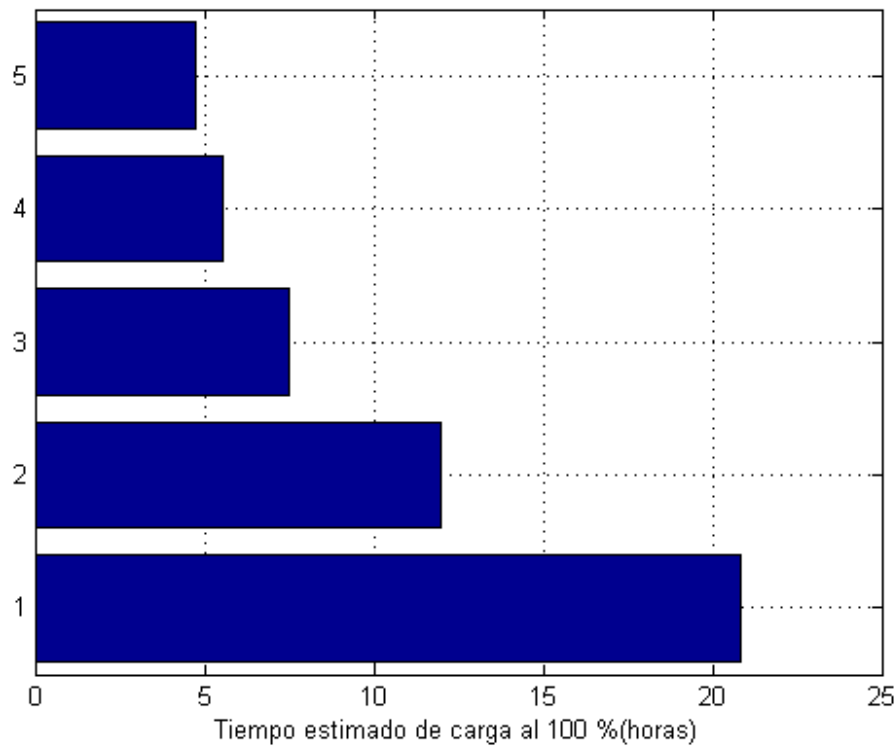


Figura 67. Tiempo estimado de carga en base a la potencia calculada para cada ciclo.

Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

#### 4.2.3 Pruebas de larga duración

En pruebas de larga duración se registró procesos de carga con duraciones superiores a 3 horas, se buscó realizar cargas que superen el 70% de la batería. Las pruebas por cuestiones de tiempo se realizaron con ciclos de servicios de 50% y 60%. El único equipo utilizado para este tipo de pruebas fue un analizador de calidad eléctrica de marca *fluke*.

Los objetivos de estas pruebas fueron, observar el comportamiento de la estación de carga en cargas completas de las baterías del VE, tales como sobrecalentamiento de elementos electrónicos que manejan elevada potencia (relés). Otro objetivo fue utilizar el equipo *fluke* para medir de manera precisa la cantidad de potencia que maneja la estación.

La prueba empezó cuando el vehículo eléctrico contaba con el 14 % de energía almacenada en sus baterías; La carga completa duró 4 horas con 25 minutos y 30 segundos. Durante este tiempo el equipo analizador de calidad eléctrico recolectó algunas variables eléctricas, voltaje de línea y fase, corriente de línea, energía aparente, energía activa, energía reactiva, distorsión THD de corriente y voltaje; estos datos fueron almacenados en un archivo de Excel, el mismo que fue analizado posteriormente.

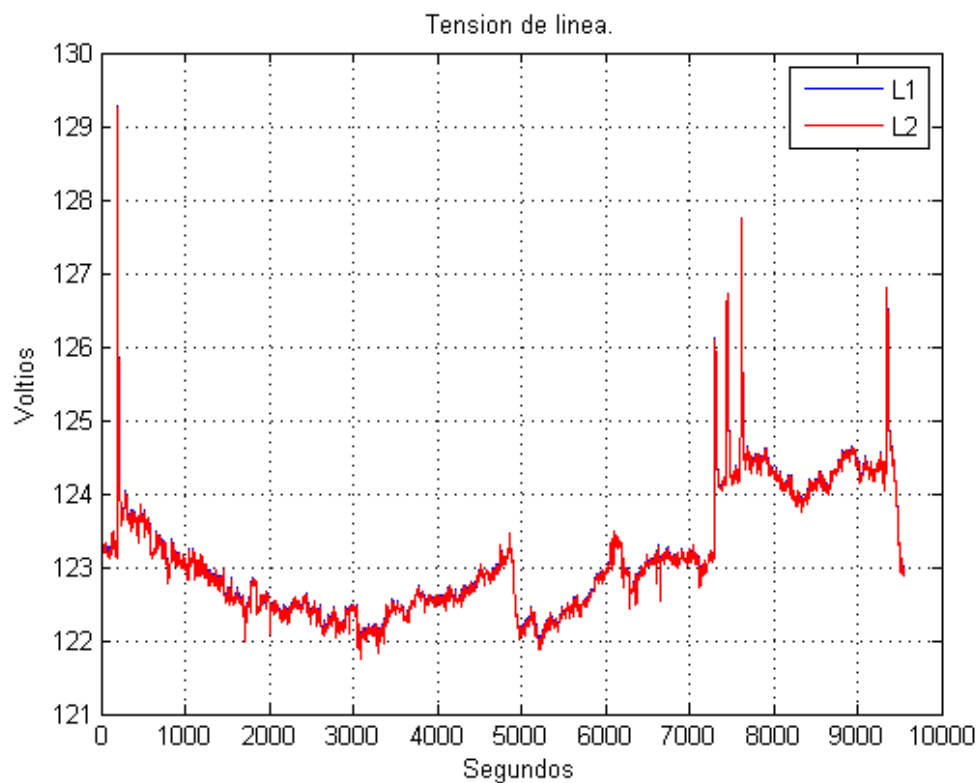


Figura 68. Tensión de las líneas L1 Y L2 durante la prueba de larga duración.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

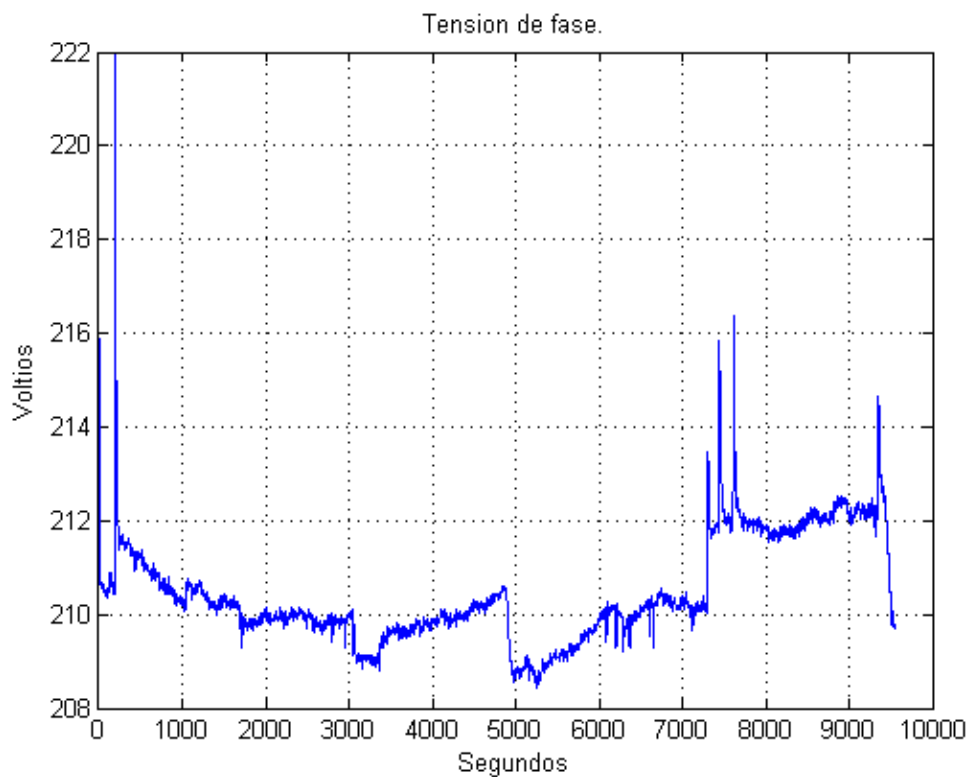


Figura 69. Tensión de fase L1, L2 durante la prueba de larga duración.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

La Figura 68 muestra el comportamiento de la tensión de las líneas L1 y L2 durante todo el proceso de carga, el nivel de tensión en ambas líneas es idéntico, presentado un pico máximo de 130 V y un mínimo de 121.6 V con un promedio de 123.1 V. La Figura 69 nos muestra la

tensión de fase entre las líneas L1 y L2, esta tensión presenta un pico máximo de 222 V la figura además muestra valores mínimos que rodean a los 209 V, se obtuvo un promedio de 210.47 V.

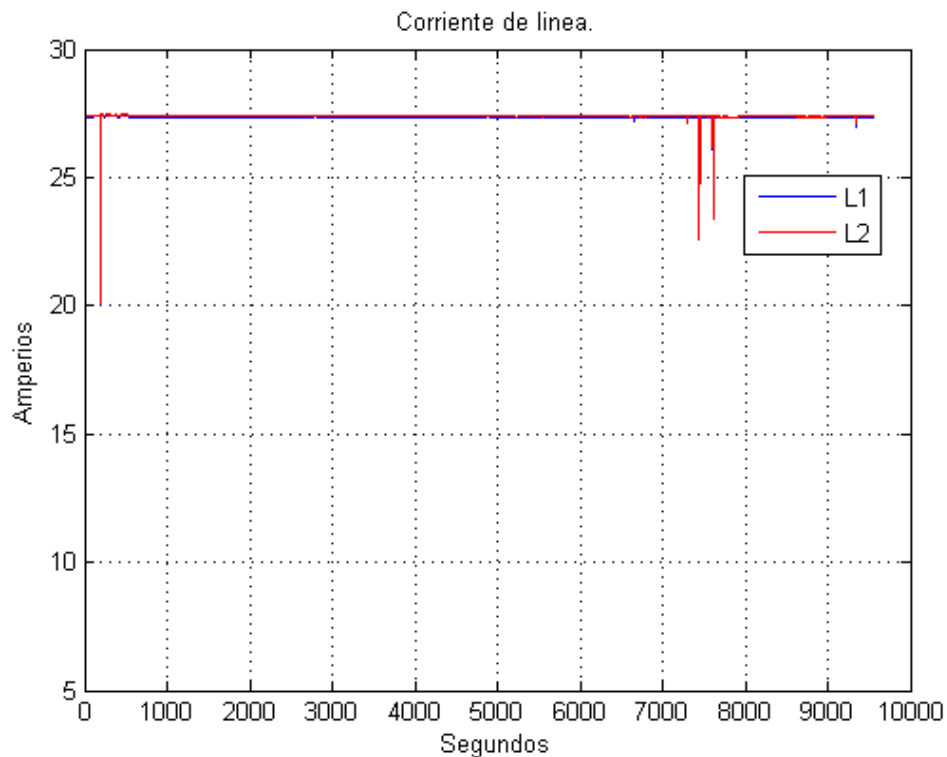


Figura 70. Corriente de las líneas L1 y L2 durante la prueba de larga duración.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

En cuanto a la corriente medida por el equipo *fluke* (Figura 70), la corriente de línea L1 y la línea L2 son, como en el caso de los voltajes de línea, las mismas; en este caso las corrientes presentan amplitudes máximas que rodean los 27.5 A y picos mínimos de 20, 22.7 y 23.4 A.

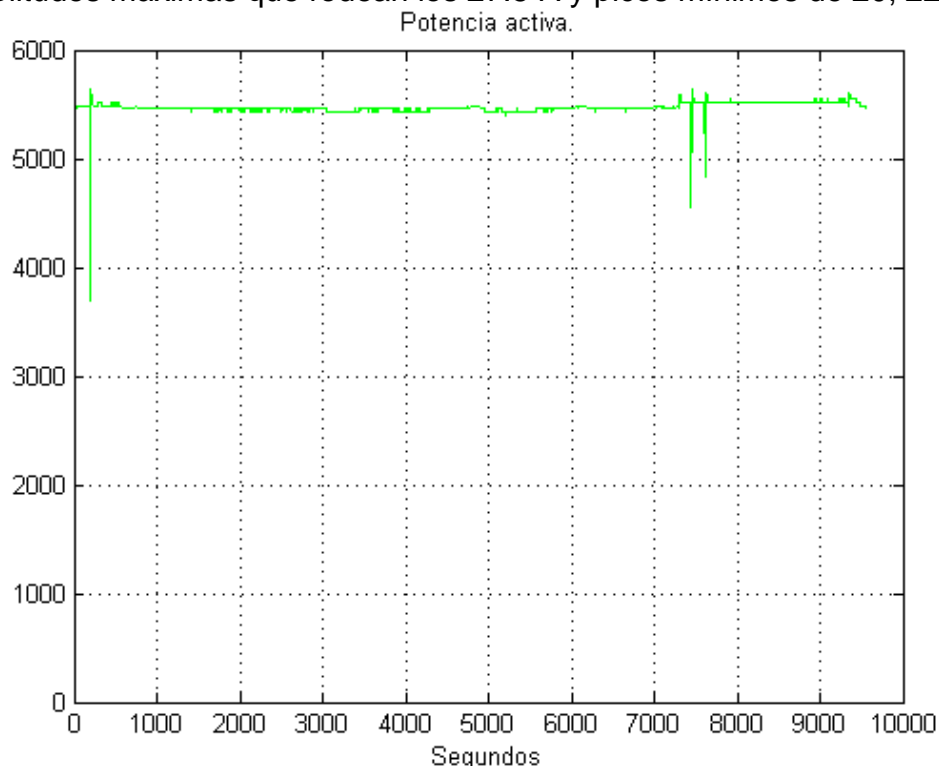


Figura 71. Potencia activa durante la prueba de larga duración.

Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

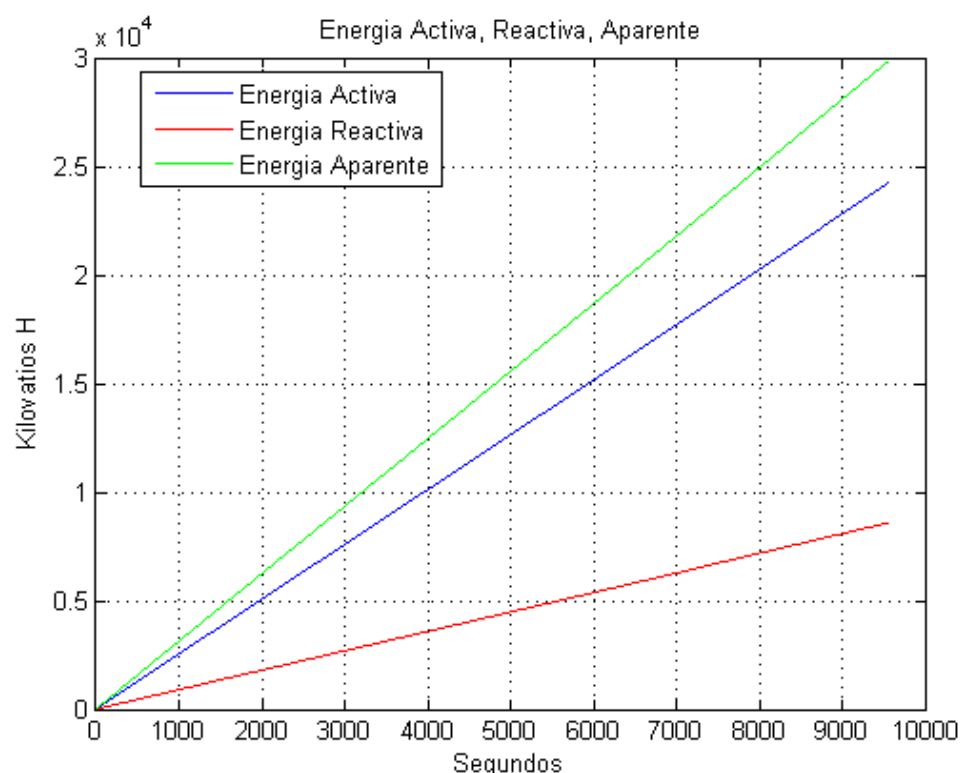


Figura 72. Energía Activa, Reactiva y Aparente.

Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

En cuanto a la potencia activa (Figura 71), se tienen máximos de 5.6 KW y mínimos de 3.7 KW, 4.55 KW y 4.8 KW, el resultado promedio de la potencia activa es 5.47 KW. Por su parte la energía medida por el equipo se observa en la Figura 72, podemos ver 3 tipos de energía la energía Aparente en color verde, la energía Activa en color azul y la energía Reactiva en color rojo. Los valores totales de cada tipo de energía son 29.82, 24.22 y 8.58 KWh respectivamente.

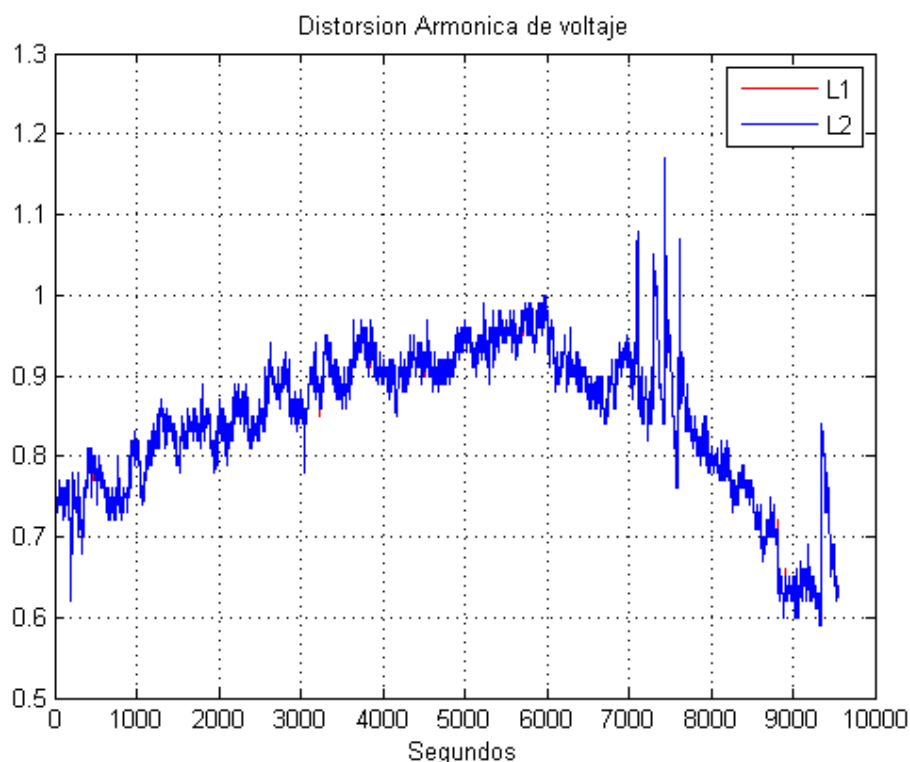


Figura 73. Distorsión Armónica de voltaje.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

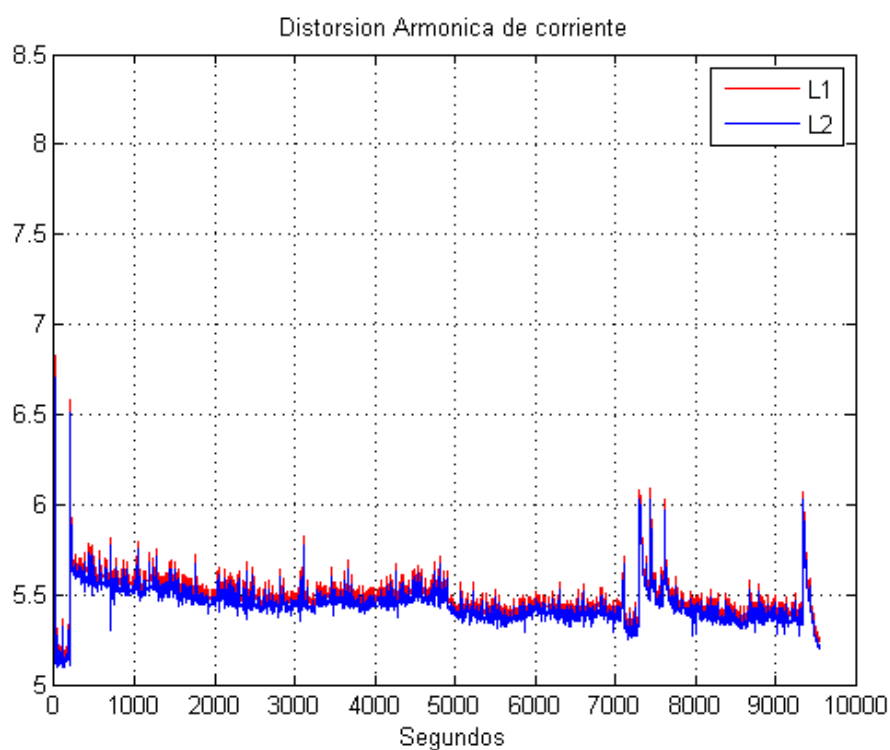


Figura 74. Distorsión Armónica de corriente.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por el autor

Las Figuras 73 y 74 indican la distorsión armónica total en el voltaje de fase y la corriente de cada línea, se puede observar que la distorsión armónica en voltaje no supera el 1% teniendo un promedio de 0.84 %, mientras que para el caso de la corriente está acotada entre el 5% y 7 % con un promedio de 5.48 %. La distorsión armónica es una forma de medir la cantidad de

armónicos no deseados presentes en la salida de la estación de carga. En la Figura 75 se muestra la amplitud de los armónicos en relación de la frecuencia fundamental o armónico 1.

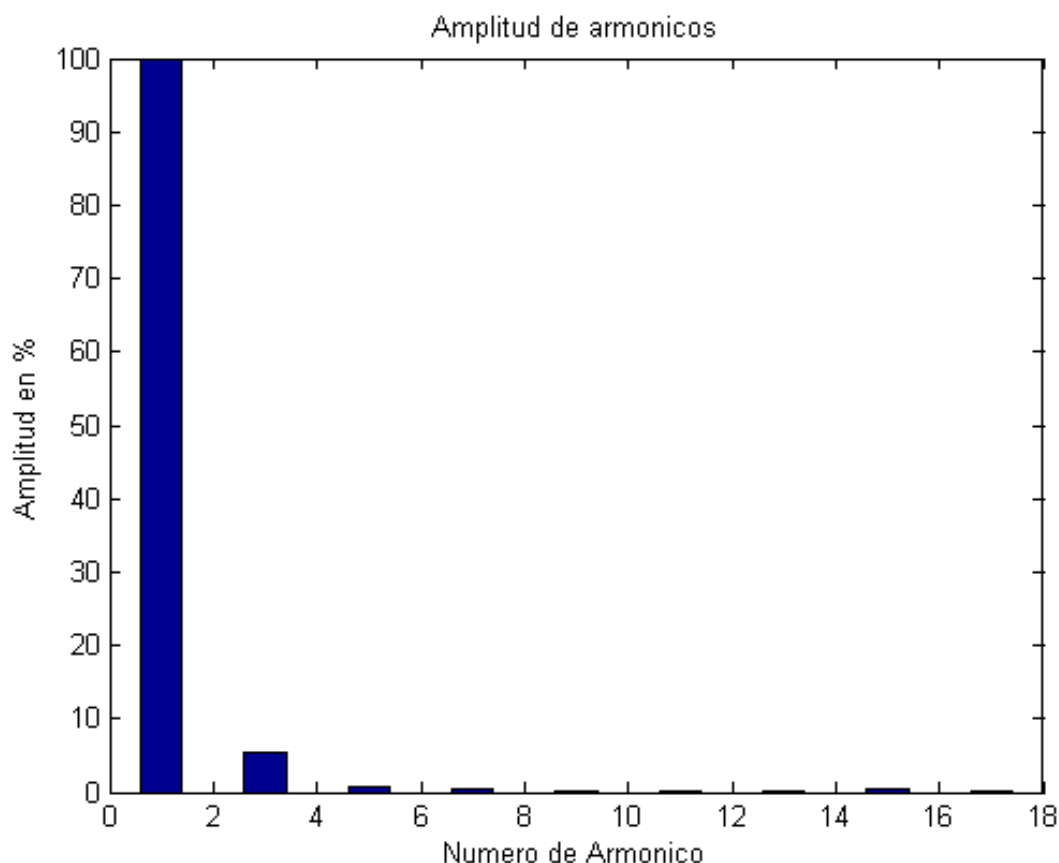


Figura 75. Amplitud de los primeros 17 armónicos.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

Los datos obtenidos fueron promediados y los resultados se observan en la Tabla 15.

Tabla 15. Datos promedio del analizador de calidad eléctrica.

Tensión línea A prom. (V)	Tensión línea B prom. (V)	Tensión fase AB prom.(V)	Corriente línea prom. (A)	Potencia Activa prom. (KW)	Energía Aparente (KWh)	Energía Activa (KWh)	Energía reactiva (KWh)
123.12	123.11	210.47	27.39	5.47	29.82	24.22	8.58

Al iniciar el proceso de carga se definió que el estado inicial de la batería era del 14% y la carga lo llevó al 100%, el proceso de carga debió aportar una energía equivalente al 86% de la capacidad de las baterías es decir 23.22 KWh, sin embargo, la energía que registro el analizador de calidad eléctrica fue 24.22 KWh, es decir, 1 KWh adicional. Este porcentaje de energía sobrante puede ser explicado por varios motivos, la energía consumida por la estación, la energía disipada por lo elementos de potencia, energía disipada por los cables e inclusive errores producidos en los equipos de medición.

## Capítulo 5

### Diseño del sistema de comunicación (IoT)

#### 5.1 Historia y actualidad

IoT (Internet of things), es una arquitectura emergente basada en el internet global que facilita el intercambio de bienes y servicios entre redes de la cadena de suministro y que tiene un impacto en la seguridad y privacidad de los actores involucrados. [38]

IoT nació en algún momento entre los años 2008 y 2009, ofreciendo beneficios de mejora de la gestión de los activos y de los productos, aumentando la cantidad de datos de información y permitiendo la optimización recursos que se traduce en ahorro de costes. [39]. El Internet por su cuenta ya ha impactado para bien áreas cotidianas como, la educación, la comunicación, las empresas, la ciencia, los gobiernos. [40] [41]

El medio de acceso a internet ha evolucionado hacia los dispositivos portátiles mayoritariamente los teléfonos inteligentes. [42]. Los Smartphones han experimentado un crecimiento acelerado, para 2010 se calculaba que existían 12.5 mil millones, si tenemos en cuenta que la población para ese año era de 6.8 mil millones personas, en promedio se tenía que el número de dispositivo conectados a internet era 1.84 por persona, y se espera que para 2020 sea 6.58 por persona como se observa en la Figura 76.

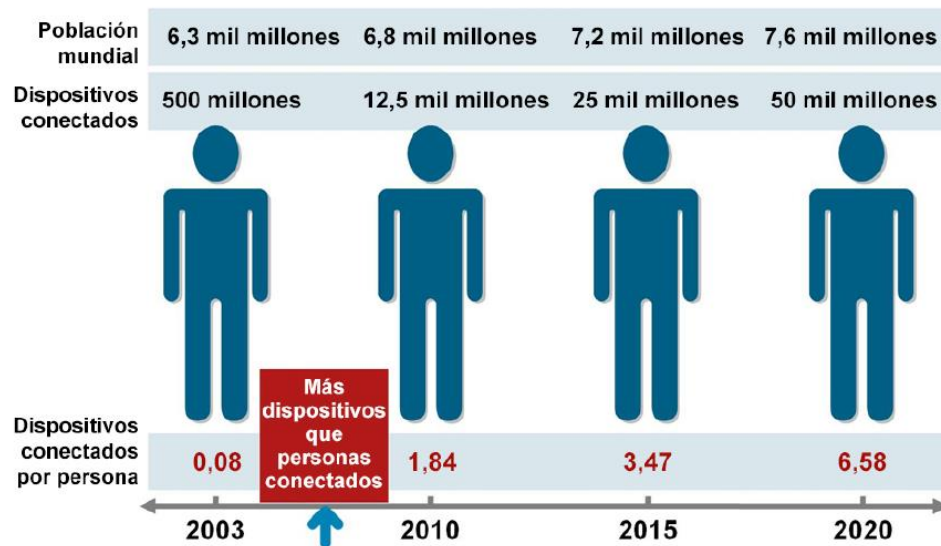


Figura 76. Crecimiento de los dispositivos conectados a internet y número de habitantes del planeta.  
Fuente: [63], Esquema adoptado por los autores.

#### 5.2 IoT uniendo diferentes redes

Internet de las cosas fue pensada como una colección de dispositivos heterogéneos intercambiando datos entre sí de manera eficiente, integra y segura. Esto implica diferentes tipos de redes con diferentes tecnologías, diferentes protocolos, funcionando entre sí (Figura 77), un claro ejemplo es una red de sensores, varios sensores recolectando datos y enviándolos a un nodo central de forma inalámbrica (Zig-bee), este nodo se comunica a internet usando la red móvil (3G o 4G), los datos son enviados al otro lado del mundo usando



un enlace internacional submarino (fibra óptica) finalmente llega al destino, una PC que esta conectada a la red doméstica (Wi-fi). Estas características de conexión administración y seguridad, son necesarias para que IoT sigan evolucionando.

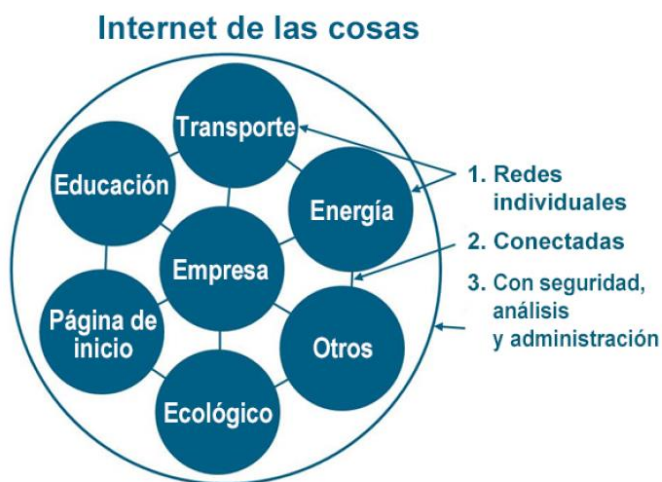


Figura 77. Esquema de IoT

Fuente: Cisco IBSG, abril de 201, Esquema adoptado por los autores.

En sus inicios y gran parte de su existencia, internet comenzaba y terminaba en la pantalla de un ordenador, internet no era más que un grupo de computadoras conectadas entre sí intercambiando información, este paradigma cambio totalmente con el surgimiento de IoT, ahora, los dispositivos están en el campo, en los hogares, en los teléfonos de las personas y algunos de ellos dentro de los cuerpos de las personas. Estos dispositivos generan y transmiten información automáticamente.

IoT ha buscado siempre mejorar la calidad de vida de las personas, automatizando, supervisando y controlando procesos de distintas naturalezas sin la intervención de los seres humanos. El objetivo es combinar la capacidad de medir, recolectar, analizar, transmitir información, con la capacidad de procesamiento de los nuevos computadores y la distribución de datos a nivel mundial que nos ofrece el internet.

### 5.3 Los desafíos que enfrenta IoT

IoT en pocas palabras conectará los objetos con las personas usando internet, esto no será sencillo y existen 3 barreras que se deben superar. La implementación de un nuevo protocolo de internet, la energía para alimentar los dispositivos, protocolos y normas de intercambio de datos.

#### 5.3.1 El protocolo IPv6

Para garantizar que cada dispositivo pueda acceder a internet, es necesario que tenga una dirección única e irrepetible; el actual protocolo IPv4 agotó sus direcciones en febrero de 2010, algo que los usuarios apenas notamos gracias al empleo de algunas soluciones temporales como NAT, aplicación de superneting, subneting y reutilización de direcciones. Todas estas soluciones son temporales la solución definitiva y a largo plazo es la implementación del nuevo

protocolo IPv6. Este protocolo garantiza tener un numero casi inagotable de direcciones  $3.4 \times 10^{38}$  para ser exactos. [43]

### 5.3.2 Energía para los dispositivos

IoT, desde sus inicios pretendió obviar la parte humana, esto quiere decir que los dispositivos deben ser totalmente autosustentables; la idea de remplazar las baterías de millones de dispositivos repartidos en extensas áreas geográficas no tiene sentido. En este campo de auto generación de energía, destaca la energía solar que en los últimos años ha dado grandes avances, así mismo se contempla generadores basados en el viento y corrientes marítimas.

### 5.3.3 Normas

En cuanto a normas el campo aún está en sus inicios, es necesario establecer protocolos de seguridad, arquitectura, privacidad y comunicaciones. Para las normas y estándares existen varias organizaciones entre las que destaca la IEEE (Institute of Electrical Electronic Engineers). [40]

## 5.4 IoT de la energía

Como hemos mencionado ya en varias ocasiones IoT nos permite leer y monitorear casi cualquier dispositivo que esté conectado a internet, como una cámara de vigilancia que envíe notificaciones en caso de haber actividad inusual, un refrigerador que nos permita ver los víveres dentro del mismo desde el supermercado, poder alimentar al perro desde la oficina usando alimentadores electrónicos, etc. Pero que sucede si ahora queremos monitorizar el consumo de energía de nuestro hogar o de un dispositivo en concreto, pues bien, esto es completamente posible.

Leer el consumo energético de los dispositivos nos brinda varios beneficios:

- Automatizar, dispositivos o zonas de un edificio, en donde no se encuentre personas.
- Encontrar fallas en dispositivos que ocasionan elevados consumos energéticos.
- Permitir a las empresas que venden energía, controles y facturaciones más precisos.

*“Los edificios smart de orientación comercial serán los mayores usuarios del IoT (Internet of Things) hasta 2017. Entonces, las casas inteligentes tomarán el relevo y dominarán un mercado con más de 1 billón de cosas conectadas en 2018”* Bettina Tratz-Ryan, Research Vice President en Gartner. Figura 78.



Figura 78. IoT en las ciudades.  
Fuente: [64], Esquema adoptado por los autores.

### 5.5 Conectando la estación de carga a internet

Hemos visto las ventajas que nos ofrece monitorizar, y controlar los dispositivos a distancia usando Internet, también listamos los aspectos de seguridad y normas de comunicaciones que se debe respetar.

A continuación, surgen varias preguntas: ¿Es útil conectar la estación de carga a internet?, ¿Cuál es el beneficio que obtenemos? Pues bien, la estación es un dispositivo que maneja una considerable cantidad de potencia (unos cuantos kilovatios), y por lo tanto es de suma importancia, establecer una monitorización y un control sobre la estación de carga (Figura 79).

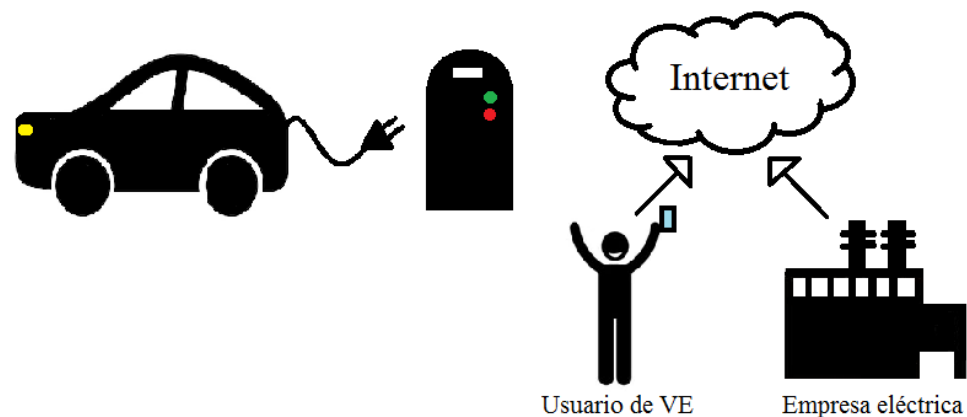


Figura 79. Esquema de conexión de la estación.  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

Las estaciones de carga pueden ser de uso público, es decir estar distribuidas en determinadas zonas de una ciudad, y es necesario conocer que estaciones están siendo utilizadas constantemente, y cuales están siendo subutilizadas, además de conocer el comportamiento de las personas en cuanto a las recargas de su vehículo, por ejemplo, que

horarios son los preferidos y cuál es el tiempo promedio de uso. Toda esta información es útil para una mejor planificación y en general para un servicio eficiente.

En cuanto a las estaciones de carga domésticas la tendencia es diferente. El usuario acostumbra a usar la estación en horarios nocturnos durante intervalos de tiempo más o menos similares, este comportamiento marcado no presente inconvenientes. El problema surge cuando en cada hogar se tuviera una estación y cada usuario presentaría un comportamiento similar entonces la red eléctrica de las áreas residenciales enfrentarían problemas de posibles sobre cargas. Este escenario muestra la razón por la que las estaciones de carga deberían tener horarios de funcionamiento coordinados.

Las estaciones están diseñadas para ser operadas por el usuario directamente, es decir cuentan con una interfaz física de fácil manejo; pero esto no quita la posibilidad de que la estación pueda ser operada a distancia, ya sea por el usuario, mediante su teléfono inteligente, o incluso por la empresa de eléctrica local mediante un sistema SCADA.

## 5.6 Medios de acceso

En la actualidad existen muchas tecnologías para acceder a internet, pero podemos dividir las principalmente en 2 grandes grupos: alámbricas e inalámbricas.

### 5.6.1 Métodos Alámbricos

Estos métodos son más comunes y de costos más bajos, cuentan con un gran ancho de banda, muy superior a los dispositivos inalámbricas ver Figura 80. La desventaja de estas tecnologías es que necesitan hardware adicional para la implementación, además que necesita espacio físico que muchas veces no está disponible. Además, un cable es susceptible a vandalismo, éste puede ser intervenido o cortado.

Entre estas tecnologías tenemos

- Cable coaxial.
- Cable ethernet.
- Fibra óptica.

En la actualidad, en las diferentes ciudades este tipo de redes están totalmente desplegadas por lo que no existiría mayor dificultad en su uso.



Figura 80. Métodos alámbricos para acceso a internet.  
Fuente: Esquema editada y/o desarrollado por los autores.

## 5.6.2 Métodos inalámbricos

La tecnología de acceso inalámbrico, es cada vez más barata además de que están pensada para las redes de sensores, aunque poseen un ancho de banda menor, es suficiente para la información que se intercambia entre los dispositivos (Figura 81). Con respecto a la seguridad, las normas inalámbricas son cada vez más estrictas en este sentido y presentan un bajo consumo eléctrico.

En esta tecnología tenemos.

- Wi-Fi.
- Red móvil.
- LoRa.

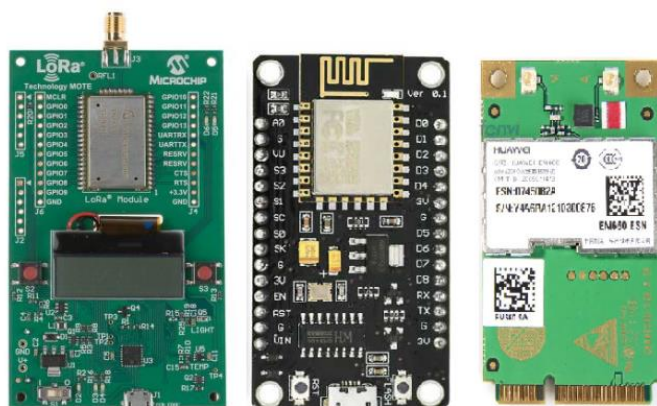


Figura 81. Métodos inalámbricos de acceso a internet.  
Fuente: Esquema editado y/o desarrollado por los autores.

## 5.6.3 Seleccionando la tecnología inalámbrica

La elección para el acceso a la red en la estación de carga, debido a compatibilidad con el microcontrolador, bajo consumo, cuestiones de movilidad, entre otros factores, siempre estuvo en el tipo inalámbrico.

Si hablamos de LoRa, ésta nos ofrece gran alcance, bajo consumo energético, además de que está pensada para IoT, sin embargo, su desempeño en ciudades con gran densidad poblacional esta aún bajo estudio, por otro lado, LoRa necesitaría hardware adicional para poder ser operada por las estaciones domésticas. Finalmente, el costo de dispositivos con tecnología LoRa es superior al de las otras tecnologías.

Por otra parte, la red móvil con módulo de 2G o 3G, parece ser una gran opción tanto para estaciones públicas como domésticas, el ancho de banda es adecuado, el consumo energético es medio-alto, la tecnología lleva mucho tiempo en uso dejando en claro su validez. El principal inconveniente que presenta es que el uso de las redes móviles genera un costo adicional por parte del operador.

Finalmente se tiene Wi-Fi, esta tecnología es similar a las anteriores, es de bajo consumo, el ancho de banda disponible es muy grande, y la seguridad implementada es de las mejores.



Wi-Fi es una tecnología que se encuentra prácticamente en todo lado por lo que puede ser usada sin hardware adicional, tanto en estaciones domésticas como públicas.

Por razones de compatibilidad, prestaciones, ancho de banda y costo se decidió que la estación, tenga su propio módulo Wi-Fi. En el mercado actual existen un sinnúmero de módulos con tecnología Wi-Fi diseñados para ser compatibles con los microcontroladores y diferentes tarjetas como Arduino. La serie ESP ofrece varios dispositivos con diferentes prestaciones. Estos módulos son producidos por el fabricante chino *Espressif Systems*, con sede en Shanghái. Los módulos **WI-FI ESP8266** (Figura 82) incluyen toda la electrónica necesaria para la comunicación Radio Frecuencia en la banda Wi-Fi, ofrece el manejo de la pila TCPIP y finalmente se comunica con los dispositivos mediante un puerto serie.



Figura 82. Módulos Wi-Fi de la línea ESP.  
Fuente: [65], Esquema adoptado por los autores.

Los diferentes modelos que observados en la Figura 82, a pesar de que se ven distintos entre sí, la verdad es que todos utilizan el mismo chip integrado (Figura 83), y las diferencias están en los pines de entrada/salida que poseen o en las antenas que utilizan.



Figura 83. Chip Wi-Fi ESP8266.  
Fuente: Esquema editado y/o desarrollado por los autores.

El chip que todos los modelos utilizan se puede apreciar en la Figura 83, y tiene las siguientes características.

- Procesador interno de 32 bits a 80 MHz hasta 160Mhz.
- 80K de DRAM.
- 32K de IRAM, memoria rápida para el procesador.
- 1 Mb de memoria Flash para nuestros programas.
- Stack TCPIP Wi-Fi a 2.4 Ghz.
- 30 Metros de alcance teórico.
- 16 pines GPIO programables disponibles.
- Full TCPIP stack include.
- Gestión completa del Wi-Fi con amplificador incluido.
- 802.11 protocol y Wi-Fi Direct (P2P) Soft-AP.
- Regulador y unidad de alimentación incluidos.
- Consumo en reposo <10 mW.
- Soporta antena externa para mayor alcance.
- Soporta el bus SPI.

### 5.7 El módulo ESP 8266-01

El módulo escogido para la estación de carga es la versión más conocida y utilizada, el ESP8266-01 ver Figura 84, como definimos antes, este módulo no difiere en gran medida de los demás, únicamente en el número de pines de salida disponibles.

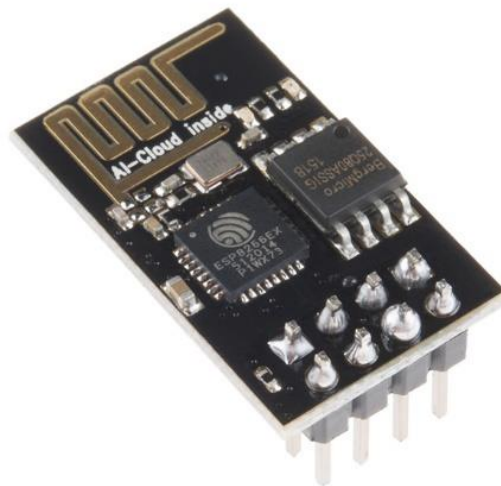


Figura 84. Módulo ESP 8266-01.

Fuente: [66], Fotografía adoptada por los autores.

Algunas características de este pequeño dispositivo son que incluye todo lo necesario para conectarse a un punto de acceso Wi-Fi a través de su propio conjunto de comandos, los comandos AT. La comunicación con el microcontrolador se realiza mediante un puerto serial USART, el mismo que puede ser configurado para funcionar a distintas velocidades que pueden llegar hasta los 115200 baudios.

Para poner a funcionar al ESP8266, primero debe conectarse a un punto de acceso, para esto se usan los comandos mencionados anteriormente, lo único que le modulo requiere son el



nombre del punto de acceso y la contraseña, luego el módulo por sí solo realiza todo el proceso de búsqueda, negociación y conexión con el enrutador.

Cuando el módulo ya se encuentra conectado, es decir posee una dirección IP y es reconocible por otros dispositivos de la misma red, ya puede enviar y recibir datos hacia y desde la red. Si queremos enviar información hacia Internet, debemos enviar únicamente la información al módulo a través del puerto serial, el módulo se encargará de todo el empaquetado TCP/IP y la seguridad de los datos que se enviarán a través de la interfaz aire. De manera similar cuando recibamos los datos provenientes de la red, el dispositivo hará el trabajo duro por nosotros, se encarga de remover los encabezados y encapsulados de TCP/IP enviando a través de la misma interfaz serial, únicamente la carga útil. [44]

### 5.7.1 Los comandos AT

Los comandos AT son propios del ESP8266, vienen precargados en la memoria del dispositivo y son utilizados para ejecutar todas las operaciones que el modulo posee. Los comandos AT deben ser ingresados al módulo a través del puerto serial y deben ser escritos de forma correcta, de lo contrario el módulo no ejecutará ninguna acción y devolver un mensaje de ¡ERROR!

La Tabla 16 se detalla los comandos AT más importantes

Tabla 16. Lista de comandos AT principales

Comando	Descripción	Tipo	Parámetros
AT+RST	Reinicia el módulo	básico	-
AT+CWMODE	Verifica o establece el modo de operación	Wi-Fi	1=estación, 2=AP, 3=ambos
AT+CWJAP	Se une a un punto de acceso	Wi-Fi	ssid, pwd
AT+CWQAP	Deja el punto de acceso	Wi-Fi	-
AT+CWLAP	Lista los puntos de acceso disponibles	Wi-Fi	-
AT+CWSAP	Configura los parámetros del punto de acceso	Wi-Fi	ssid,pwd,chl,ecn
AT+CIPSTATUS	Verifica el estado de la conexión	TCP/IP	-
AT+CIPSTART	Activa las conexiones TCP o UDP	TCP/IP	id,type,addr,port
AT+CIPSEND	Envía datos al dispositivo conectado	TCP/IP	-
AT+CIPCLOSE	Cierra las conexiones TCP o UDP	TCP/IP	-
AT+CIFSR	Muestra la dirección IP	TCP/IP	-
AT+CIPMUX	Activa múltiples conexiones.	TCP/IP	0 única, 1 múltiple
AT+CIPSERVER	Configura al dispositivo como servidor	TCP/IP	0 AP, 1 servidor, port
ssid=nombre del AP, pwd = contraseña, chl = canal, ecn= encryptacion,id=1-4,type=TCP/UDP, addr= direccionIP, port=puerto			

Dependiendo del modelo del ESP8266, la lista tendrá más comandos, pero los que se especificaron en la Tabla 16, están disponibles para todos los modelos. [45]

## 5.8 Desarrollo de la página web

El objetivo de proveer a la estación con una conexión a internet es poder operarla de manera remota (conectar y desconectar) ya sea desde la misma red local, o desde un lugar alejado usando internet, Figura 85, además existe la posibilidad de que la estación envíe información hacia el usuario. Dicha información puede ser muy variada, relacionada con la energía, configuraciones establecidas, tiempos de utilización, e inclusive tipos de problemas que la estación puede sufrir. Es obvio que las posibilidades que nos brinda esta conexión son muy amplias.

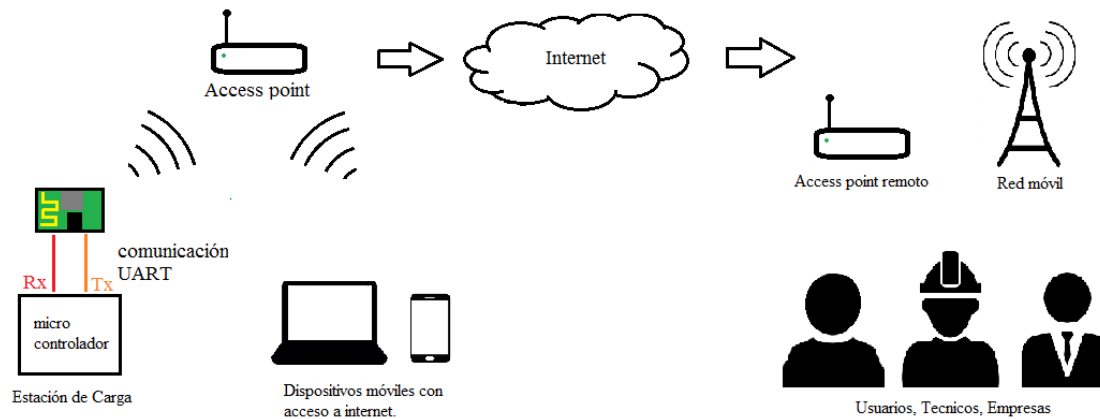


Figura 85. Esquema de comunicación entre la estación y el usuario.

Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

Además de enviar los datos al destino es necesario que estos, sean accesibles y legibles por el usuario de una forma agradable. Las opciones que se tomaron en cuenta fueron diversas, la primera opción fue el desarrollo de una aplicación para teléfonos inteligentes que reciba los datos, los separe, interprete, ordene y los despliegue en una interfaz amigable para el usuario. Esta opción por el momento fue descartada porque no todos los teléfonos usan el mismo sistema operativo, y por tanto una app debería desarrollarse para Android y IOS, los dos sistemas operativos más populares en teléfonos inteligentes, lo que duplicaría esfuerzos. Además, que una app de este tipo no puede ser ejecuta en computadores.

La segunda opción tomada en consideración fue una página web, esta puede ser consultada desde cualquier teléfono, tableta o computadora sin importar el sistema operativo o la marca, además puede ser consultada también desde computadores de escritorio, un factor adicional es que una página web se puede desarrollar más fácilmente que una app. Si bien una página web debe estar alojada en un servidor que tenga su propia dirección IP, esto no es problema porque el módulo ESP8266 puede funcionar como un servidor web, capaz de atender múltiples peticiones de clientes. El módulo recibirá los datos de la estación, estos datos son interpretados y son desplegados en una página web, a todos los usuarios que lo soliciten.

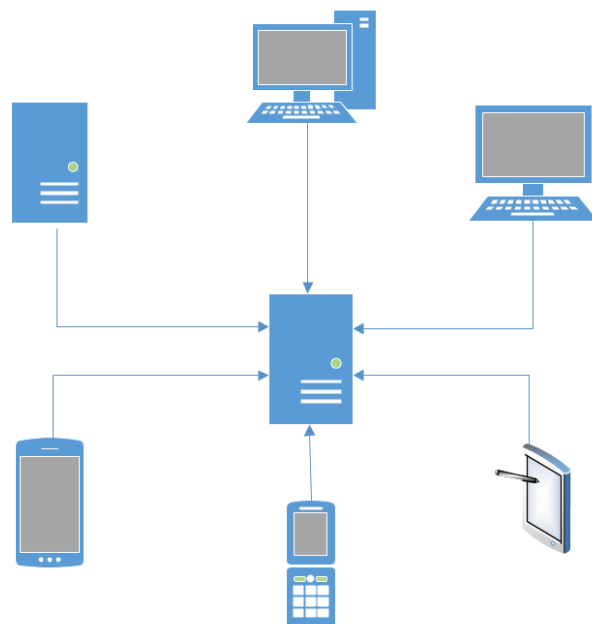


Figura 86. Conexiones entrantes de un servidor.  
Fuente: Esquema desarrollado por los autores.

La página web se desarrolló en lenguaje HTML, un lenguaje compatible con todos los dispositivos móviles, ordenadores y navegadores. El resultado se puede ver en la Figura 87, la página web es accedida desde un dispositivo con sistema operativo Android, la página se actualiza automáticamente cada 5 segundos. La página web muestra datos como el estado de la estación, el nivel de corriente que circula hacia el vehículo, el tiempo que lleva cargándose el vehículo y el ciclo de trabajo al cual funciona la estación. Adicionalmente la página web cuenta con 2 botones, mediante los cuales el usuario puede iniciar o detener el proceso de carga del VE, siempre y cuando este esté conectado a la estación de carga (electrolinera).



Figura 87. Página web para control de la estación.  
Fuente: Captura de pantalla realizada por los autores.

## Capítulo 6

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 6.1 Conclusiones

Las estaciones de carga están regidas por normas claras y estrictas, una investigación bibliográfica extensa sobre el estándar SAE J1772 en la que se presentó las distintas tecnologías que intervienen en el desarrollo y construcción de una estación de carga nivel L2.

La línea de comunicación entre la estación de carga y el vehículo eléctrico es quizá el elemento crítico de todo el sistema de comunicación. Si la señal de piloto presenta incongruencias con lo establecido en la norma, la estación o el vehículo pueden experimentar daños graves debido a los niveles de potencia manejados.

El diseño y simulación de diferentes circuitos para cada parte del sistema permitió seleccionar las mejores opciones en cuanto a: tipo de tecnología, complejidad, número de elementos, costo y consumo energético, el resultado fue un prototipo 100% funcional de costo reducido y versátil para adaptarse a distintas versiones.

El prototipo de la estación de carga de este trabajo de titulación operó correctamente para los distintos niveles de potencia a los cuales fue puesta a pruebas, estos niveles van desde 1.32 KW hasta 5.37 KW.

Teóricamente la potencia nominal que la estación de carga debía manejar era para un ciclo de trabajo del 50% con una potencia de 6.6 KW que va de acuerdo con la capacidad del cargador a bordo de los vehículos eléctricos, pero debido a que la red eléctrica en la que la estación fue conectada tan solo aporta 208 VAC la potencia final se ve reducida.

La eficiencia de la estación de carga medida en base a la potencia que es tomada de la red de energía eléctrica y la potencia de que es entregada a las baterías del vehículo eléctrico durante las pruebas alcanzaba el 95.87%.

Se ha conseguido que la estación de carga tenga funcionalidades extras y ventajas sobre la estación de carga existente en el laboratorio, por ejemplo, la capacidad de iniciar y detener el proceso de carga sin la necesidad de que el vehículo tenga que ser desconectado y conectado nuevamente.

La conectividad a internet, otra de sus características adicionales, le permite a la estación de carga compartir datos del proceso de carga durante el mismo, así como también brinda la posibilidad de configurar la estación. Esta conectividad abre un abanico de posibilidades relacionados con el internet de las cosas.

## 6.2 Recomendaciones

En caso de extenderse el desarrollo del prototipo de la estación de carga deben tomarse en cuenta ciertos aspectos.

Incluir un conector de vehículos eléctricos que usen el estándar del conector europeo o en su defecto un adaptador, disponible en el mercado, esto con la finalidad de poder extender el número de vehículos compatibles con la estación de carga.

El prototipo desarrollado puede ser usado como base para el desarrollo de prototipos más sencillos. Estos prototipos básicos pueden ser de un tamaño más pequeño, inclusive llegar a ser portátiles; además hay que tener en cuenta que prototipos sencillos son más económicos.

Algunos componentes usados en la construcción de la estación de carga fueron importados del exterior, pero la mayoría pueden ser reemplazados con elementos disponibles en el mercado local sin afectar el funcionamiento del sistema.

Para el prototipo de este trabajo se usó una fuente de alimentación externa disponible, en el desarrollo de futuros prototipo es aconsejable integrar la fuente de alimentación en la placa junto con los elementos de control.

La opción de cada estación cuenta con un módulo Wi-Fi, el cual puede funcionar como un cliente y un servidor deja la opción de crear un sistema de estaciones interconectadas a lo largo de una ciudad.

La caja que contenga el prototipo debe estar diseñada para albergar elementos eléctricos de alta y baja tensión, además de contar con protección contra condiciones ambientales como polvo, humedad, chorros de agua, etc.

# ANEXOS

## A. Especificaciones técnicas del Sensor de corriente

### High Ratio Wire Lead Transformers

CR Magnetics **CR8400** Series of Wire Lead Current Transformers are available in a wide range of sizes and materials to meet any AC current sensing needs. Our **General Purpose** designs are made from the highest quality silicon steel cores available, and meet most of the common AC current measurement needs. Our **Revenue Grade** CIs (-N) are made from a nickel alloy core which provides the most linear response over temperature and current level. A line of **Ground Fault** (-G) CIs for measuring low AC currents including electrical shields. The **High Frequency** (-F) products are designed for high frequency applications such as high frequency power supplies and motor drives.

#### CR8400 SERIES



#### Applications

Motor Load Measurement  
Power Meters  
High Frequency Current Sensing  
Ground Fault Sensing

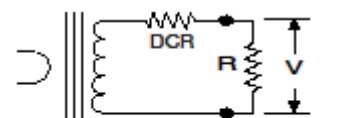
#### Features

High Ratio  
Standard Footprints

#### Specifications

Maximum Continuous Primary Current 4 X I<sub>r</sub>  
Insulation Voltage 3500 Vac/1min  
Storage Temp. -45°C thru +85 °C  
Operating Temp. General Purpose & Nickel -40°C thru +85 °C  
Operating Temp. High Frequency -40°C thru +65 °C

#### Regulatory Agencies



$$V = \frac{I \times R}{T_e} \quad V_L = V_{max} - \left[ \frac{I \times DCR}{T_e} \right]$$

For best linearity, choose R such that  $V < 0.8 V_L$



#### GENERAL PURPOSE CURRENT TRANSFORMERS

Part Number	I <sub>p</sub>	V <sub>max</sub> RMS	I <sub>o</sub> (typ.)	DCR Ω	Frequency
CR8401-1000	10	2.2	1009	49	20 - 1 KHz
CR8410-1000	20	3.1	1012	41	20 - 1 KHz
CR8420-1000	50	5.2	1018	22	20 - 1 KHz
CR8420-2000	75	9.0	1983	90	20 - 1 KHz
CR8448-1000	30	6.3	990	26	20 - 1 KHz
CR8448-2000	50	13.7	2046	106	20 - 1 KHz
CR8449-1000	50	11.6	1016	35	20 - 1 KHz
CR8449-2000	75	23	2046	150	20 - 1 KHz
CR8450-1000	100	16.5	1021	21	20 - 1 KHz
CR8450-2000	200	32	2037	73	20 - 1 KHz

#### REVENUE GRADE CURRENT TRANSFORMERS

Part Number	I <sub>p</sub>	V <sub>max</sub> RMS	I <sub>o</sub> (typ.)	DCR Ω	Frequency
CR8448-2500-R	40	6.6	2510	134	20 - 1 KHz
CR8449-2500-R	50	10.0	2490	187	20 - 1 KHz
CR8450-2500-R	75	12.0	2512	143	20 - 1 KHz
CR8450-2000-R	200	11.5	2011	74	20 - 1 KHz

#### GROUND FAULT CURRENT TRANSFORMERS

Part Number	I <sub>p</sub>	V <sub>max</sub> RMS	I <sub>o</sub> (typ.)	DCR Ω	Frequency
CR8401-1000-G	4	0.6	1005	49	20 - 1 KHz
CR8410-1000-G	7	0.8	1007	38	20 - 1 KHz
CR8420-1000-G	20	1.4	1011	44	20 - 1 KHz

#### HIGH FREQUENCY CURRENT TRANSFORMERS

Part Number	I <sub>p</sub>	V <sub>max</sub> RMS	I <sub>o</sub> (typ.)	DCR Ω	Frequency
CR8448-2000-F	50	3.9	2015	90	20 - 200 KHz
CR8449-2000-F	75	7.4	2017	109	20 - 200 KHz
CR8450-2000-F	100	8.5	2020	63	20 - 200 KHz

I<sub>p</sub> - Maximum Input Current to be linearly sensed V<sub>max</sub> - Maximum Voltage (Saturation) CI will develop  
T<sub>e</sub> - Effective turns ratio including losses (All Specifications listed at 60 Hz)

PACKAGE DIMENSIONS AND OUTLINE (mm/in)									
Part Number Prefix	A min	B max	C max	D max	E typ	Part Number Prefix	A min	B max	C max
CR8401	6.99 .275	17.53 .690	22.35 .880	8.26 .325	57.8 2.275	CR8449	9.14 .354	26.0 1.02	31.8 1.25
CR8410	9.0 .35	22 .87	27.8 1.09	8.20 .323	73 2.87	CR8450	13.08 .515	36.83 1.45	42.18 1.70
CR8420	15.0 .59	30.0 1.18	36.0 1.41	9.3 .36	100 3.94	CR8459	19 .75	48 1.89	60 2.36
CR8448	7.11 .280	23.42 .92	29.46 1.16	11.05 .435	100 3.94				



3500 Scarlet Oak Blvd. St. Louis MO USA 63122 V: 636-343-8518 F: 636-343-5119

Web: <http://www.crmagnetics.com>

91

E-mail: [sales@crmagnetics.com](mailto:sales@crmagnetics.com)

Current Transformers

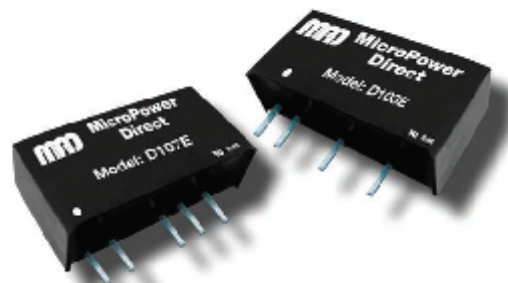
F



## B. Especificaciones técnicas del Convertidor CC/CC

# D100E Series

## Low Cost, 1W SIP Single & Dual Output DC/DC Converters



### Key Features:

- 1W Output Power
- Miniature SIP Case
- UL Approved (File E245422)
- Single & Dual Outputs
- 1,000 VDC Isolation
- >3.5 MHour MTBF
- 24 Standard Models
- **LOWEST COST!!**

RoHS



### MicroPower Direct

292 Page Street  
Suite D  
Stoughton, MA 02072  
USA

T: (781) 344-8226

F: (781) 344-8481

E: sales@micropowerdirect.com

W: www.micropowerdirect.com



### Electrical Specifications

Specifications typical @ +25°C, nominal input voltage & rated output current, unless otherwise noted. Specifications subject to change without notice.

Input						
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
Input Voltage Range	5 VDC Input	4.5	5.0	5.5	VDC	
	12 VDC Input	10.8	12.0	13.2		
	24 VDC Input	21.6	24.0	26.4		
Input Filter	Internal Capacitor					
Reverse Polarity Input Current				0.3	A	
Output						
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
Output Voltage Accuracy			±1.0	±3.0	%	
Output Voltage Balance	Dual Output, Balanced Loads		±0.1	±1.0	%	
Line Regulation	For Vin Change of 1%		±1.2		%	
Load Regulation, See Note 1	See Model Selection Guide					
Ripple & Noise (20 MHz)	See Note 2		50	75	mV P - P	
Output Power Protection			120		%	
Temperature Coefficient			±0.02	±0.03	%/°C	
Output Short Circuit	Momentary (1.0 Sec.)					
General						
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
Isolation Voltage	60 Seconds	1,000			VDC	
Isolation Resistance	500 VDC	1,000			MΩ	
Isolation Capacitance	100 kHz, 1V		60		pF	
Switching Frequency			100		kHz	
Environmental						
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
Operating Temperature Range	Ambient	-40	+25	+85	°C	
Storage Temperature Range		-55		+125	°C	
Cooling	Free Air Convection					
Humidity	RH, Non-condensing			95	%	
Physical						
Case Size	0.77 x 0.24 x 0.40 Inches (19.6 x 6.0 x 10.2 mm)					
Case Material	Non-Conductive Black Plastic (UL94-V0)					
Weight	0.07 Oz (2.1g)					
Reliability Specifications						
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
MTBF	MIL HDBK 217F, 25°C, Gnd Benign	3.5			MHours	
Safety Standards	UL 1950, EN 60950, IEC 60950					
Safety Approvals	UL, cUL; File No. E245422					
Absolute Maximum Ratings						
Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units	
Input Voltage Surge (1 Sec)	5 VDC Input	-0.7		9.0	VDC	
	12 VDC Input	-0.7		18.0		
	24 VDC Input	-0.7		30.0		
Lead Temperature	1.5 mm From Case For 10 Sec			300	°C	
Internal Power Dissipation	All Models			450	mW	

Caution: Exceeding Absolute Maximum Ratings may damage the module. These are not continuous operating ratings.

[www.micropowerdirect.com](http://www.micropowerdirect.com)

## C. Especificaciones técnicas del Amplificador operacional



LF353-N

www.ti.com

SNOS8H3F–APRIL 1998–REVISED MARCH 2013

### LF353-N Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier

Check for Samples: LF353-N

#### FEATURES

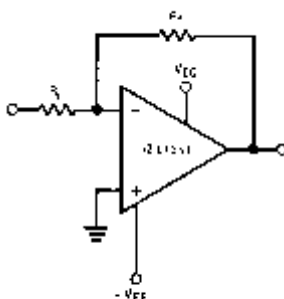
- Internally Trimmed Offset Voltage: 10 mV
- Low Input Bias Current: 50pA
- Low Input Noise Voltage: 25 nV/√Hz
- Low Input Noise Current: 0.01 pA/√Hz
- Wide Gain Bandwidth: 4 MHz
- High Slew Rate: 13 V/μs
- Low Supply Current: 3.6 mA
- High Input Impedance:  $10^{12}\Omega$
- Low Total Harmonic Distortion :  $\leq 0.02\%$
- Low 1/f Noise Corner: 50 Hz
- Fast Settling Time to 0.01%: 2 μs

#### DESCRIPTION

These devices are low cost, high speed, dual JFET input operational amplifiers with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II technology). They require low supply current yet maintain a large gain bandwidth product and fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF353-N is pin compatible with the standard LM1558 allowing designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM1558 and LM358 designs.

These amplifiers may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample and hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The devices also exhibit low noise and offset voltage drift.

#### Typical Connection




Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet. All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1998–2013, Texas Instruments Incorporated

## D. Especificaciones técnicas del Sensor de Tensión



September 2016

### MID400 AC Line Monitor Logic-Out Device

#### Features

- Direct operation from any line voltage with the use of an external resistor.
- Externally adjustable time delay
- Externally adjustable AC voltage sensing level
- Logic level compatibility
- Safety and Regulatory Approvals:
  - UL1577, 2,500 VAC<sub>RMS</sub> for 1 Minute
  - DIN-EN/IEC60747-5-5, 630 V Peak Working Insulation Voltage

#### Applications

- Monitoring of the AC/DC "line-down" condition
- "Closed-loop" interface between electromechanical elements such as solenoids, relay contacts, small motors, and microprocessors
- Time delay isolation switch

#### Description

The MID400 is an optically isolated AC line-to-logic interface device. It is packaged in an 8-lead plastic DIP. The AC line voltage is monitored by two back-to-back GaAs LED diodes in series with an external resistor. A high gain detector circuit senses the LED current and drives the output gate to a logic low condition.

The MID400 has been designed solely for the use as an AC line monitor. It is recommended for use in any AC-to-DC control application where excellent optical isolation, solid state reliability, TTL compatibility, small size, low power, and low frequency operations are required.

#### Functional Schematic

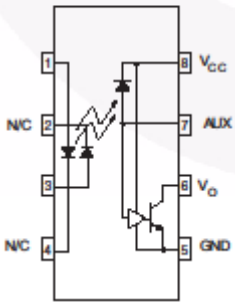


Figure 1. Schematic

#### Package Outlines

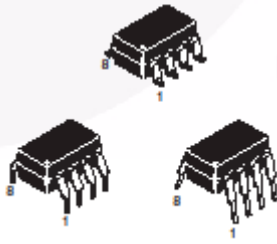


Figure 2. Package Outlines

©2005 Fairchild Semiconductor Corporation  
MID400 AC Line Monitor Logic-Out Device Rev. 1.1

1

www.fairchildsemi.com

MID400 AC Line Monitor Logic-Out Device

## E. Especificaciones técnicas del Relé



General Purpose  
High Power PCB Relays

Potter & Brumfield

### T92 Series Two-pole 30A PCB or Panel Mount Relay

- 40A, 2 form A (NO) and 2 form C (CO) switching capability
- Designed to control compressor loads to 3.5 tons, 110LRA / 25.3FLA
- Meets requirements of UL 508 and UL 873 spacings - 8mm through air, 9.5mm over surface
- Meets requirements of VDE 8mm spacing, 4kV dielectric coil-to-contact
- Meets requirements of UL Class F construction
- UL approved for 600VAC switching (1.5HP)
- New screw terminal version (consult factory for availability, ratings)

#### Typical applications

HVAC, residential / commercial appliances, industrial controls.



#### Approvals

UL E22575 (Recognized and Listed); CSA LR48471; VDE 40019600  
Technical data of approved types on request.

#### Contact Data

Contact arrangement	2 form A (NO), 2 form C (CO)
Rated voltage	277VAC
Max. switching voltage	600VAC
Rated current	30A NO; 3A NC
Limiting continuous current	40A NO; 3A NC
Limiting making current	40A NO; 3A NC
Limiting breaking current	40A NO; 3A NC
Contact material	AgSnOInO, AgCdO
Min. recommended contact load	500ma (NO) / 100ma (NC), 12VAC
Frequency of operation, with load	360hr
Operate/release time max., including bounce	25/25ms
Initial contact resistance	< 100 mΩ at 8VDC 1A

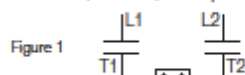
#### Contact ratings <sup>1)</sup>

Type	Load	Cycles
<b>UL508</b>		
<b>AgCdO</b>		
NO	40A, 277VAC, resistive	6x10 <sup>3</sup>
NO	30A, 120/277VAC, resistive	100x10 <sup>3</sup>
NO	10A, 600VAC, general purpose	100x10 <sup>3</sup>
NO	11-HP, 120VAC	100x10 <sup>3</sup>
NO	3-HP, 240VAC	1x10 <sup>3</sup>
NO	1.5-HP, 480 or 600VAC	100x10 <sup>3</sup>
NO	110LRA/25.3FLA, 240VAC (DC coil only)	100x10 <sup>3</sup>
NO	60LRA/14FLA, 240VAC (AC coil only)	100x10 <sup>3</sup>
NO	3A, 240VAC, pilot duty	100x10 <sup>3</sup>
NO	20A, 28VDC, resistive	100x10 <sup>3</sup>
NO	TV10, 120VAC	100x10 <sup>3</sup>
NC	3A, 277VAC	100x10 <sup>3</sup>
NC	2A, 480VAC	100x10 <sup>3</sup>
NC	1A, 600VAC	100x10 <sup>3</sup>
<b>AgSnOInO</b>		
NO	40A, 240VAC, resistive 85°C	50x10 <sup>3</sup>
NO	30A, 120/277VAC, resistive (DC coil only)	200x10 <sup>3</sup>
NO	30A, 120/277VAC, resistive (AC coil only)	100x10 <sup>3</sup>
NO	20A, 480VAC, resistive	100x10 <sup>3</sup>
NO	1.5-HP, 120VAC, 2 pole making/breaking (Fig.1)	100x10 <sup>3</sup>
NO	3-HP, 240VAC, 3 phase (DC coil only)	100x10 <sup>3</sup>
NO	3-HP, 480VAC, 3 phase (DC coil only)	100x10 <sup>3</sup>
NO	2-HP, 600VAC, 3 phase (DC coil only)	100x10 <sup>3</sup>
<b>VDE</b>		
<b>AgCdO, flange mount relays</b>		
NO	20A, 400VAC	100x10 <sup>3</sup>
NC	3A, 400VAC	30x10 <sup>3</sup>
CO	20A NO / 3A NC, 400VAC	30x10 <sup>3</sup>
<b>AgCdO, PC mount relays</b>		
NO	30A, 400VAC	100x10 <sup>3</sup>
NC	3A, 400VAC	30x10 <sup>3</sup>

CO 30A NO / 3A NC, 400VAC 30x10<sup>3</sup>

#### Contact ratings <sup>1)</sup> (continued)

ARI 780-B6 Endurance Test (section 6.6):  
HVAC Definite Purpose Contactor Standard  
Normally Open Contacts  
Single Phase/Two Pole (Both poles together switching a single load)  
110 LRA, 25.3 FLA, 200K operations (DC Coil)



Single Phase Per Pole (Single load per pole)  
110 LRA, 18 FLA, 200K operations (DC Coil).  
60 LRA, 14 FLA, 200K operations (AC Coil).



<sup>1)</sup> Contact ratings at 25°C (unless otherwise noted) with relay properly vented.  
FLA, LRA ratings are compatible with 3.5 ton compressor applications.

Mechanical endurance 10x10<sup>6</sup> ops.

#### Coil Data

Coil voltage range	5 to 110VDC; 12 to 240VAC
Max. coil power	1.7W; 4.0VA
Max. coil temperature	155°C
Coil insulation system according UL	Class F

#### Coil versions, DC coil

Coil code	Rated voltage VDC	Operate voltage VDC	Release voltage VDC	Coil resistance Ω±10%	Rated coil power W
6	6	4.5	0.8	22	1.7
9	9	6.75	0.9	48	1.7
12	12	9	1.2	86	1.7
18	18	13.5	1.8	197	1.7
24	24	18	2.4	350	1.7
48	48	36	4.8	1390	1.7
110	110	82.5	11	7255	1.7

#### Coil versions, AC coil

Coil code	Rated voltage VAC	Frequency Hz	Operate voltage VAC, 60Hz	Release voltage VAC, 60Hz	Coil resistance Ω±10%	Rated coil power VA
12	12	60	9.6	1.2	9.1	4
24	24	60	19.2	2.4	36.6	4
120	110/120	50/60	96	12	950	4
240	220/240	50/60	192	24	3800	4
277	250/277	50/60	222	28	5485	4

05-2017, Rev. 0517

www.te.com

© 2017 Tyco Electronics Corporation,  
a TE Connectivity Ltd. company.

Catalog and product specification according to IEC 61810-1 and to be used only together with the 'Definitions' section.

Catalog and product data is subject to the terms of the disclaimer and all chapters of the 'Definitions' section, available at <http://relays.te.com/definitions>

Catalog product data, 'Definitions' section, application notes and all specifications are subject to change.

1



## F. Especificaciones técnicas del PIC 18F4550

# **MICROCHIP** **PIC18F2455/2550/4455/4550** **28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology**

### Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 Endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte Dual Access RAM for USB
- On-Chip USB Transceiver with On-Chip Voltage Regulator
- Interface for Off-Chip USB Transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

### Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8  $\mu$ A typical
- Sleep mode currents down to 0.1  $\mu$ A typical
- Timer1 Oscillator: 1.1  $\mu$ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1  $\mu$ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

### Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, up to 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
  - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
  - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual Oscillator options allow microcontroller and USB module to run at different clock speeds
- Fail-Safe Clock Monitor:
  - Allows for safe shutdown if any clock stops

### Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
  - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns (TCY/16)
  - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns (TCY)
  - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
  - Multiple output modes
  - Selectable polarity
  - Programmable dead time
  - Auto-shutdown and auto-restart
- Enhanced USART module:
  - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D) with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

### Special Microcontroller Features:

- C Compiler Optimized Architecture with optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory typical
- 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Optional dedicated ICD/ICSP port (44-pin devices only)
- Wide Operating Voltage Range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		IO	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EA USART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I <sup>2</sup> C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

**G. Estándar para vehículos eléctricos****INTERNATIONAL  
STANDARD****IEC  
62196-1**

First edition  
2003-04

---

**Plugs, socket-outlets, vehicle couplers  
and vehicle inlets –  
Conductive charging of electric vehicles –****Part 1:  
Charging of electric vehicles up to 250 A a.c.  
and 400 A d.c.**

*Fiches, socles de prise de courant, prises mobiles  
et socles de connecteur pour véhicule –  
Charge conductive des véhicules électriques –*

*Partie 1:  
Charge des véhicules électriques jusqu'à 250 A c.a.  
et 400 A c.c.*



Reference number  
IEC 62196-1:2003(E)

## H. Características técnicas de la estación de carga

### Laboratorio de Micro Red Eléctrica



Estación de carga de pared, para vehículos eléctricos con conector SAE J1772 Tipo 1.

Especificaciones	Modelo - UC-32
<b>Entrada en AC</b>	
Voltaje de operación	208 - 240 VAC, 1-Ph
Frecuencia en AC	50 o 60Hz
<b>Salida en AC</b>	
Corriente	6A - 40A Ajustable por microprocesador
Potencia de Salida	5.3Kw @ 60% ciclo de trabajo
<b>Características Principales</b>	
Reloj de tiempo real	Opcional
Programación de temporizadores de carga	Opcional
Sensores de Corriente	SI
Teclado y Display de programación para el indicador de estado de carga	Opcional
Comunicación remota mediante Wi-Fi	Opcional
<b>Aspectos de Seguridad</b>	
Interruptor de seguridad	SI
Señal de piloto	SI
Contacto de proximidad	SI
AUTO test de prueba	Sensado la energía antes de iniciar carga
Temperatura de operación	5°C - 65°C
<b>Encapsulado</b>	
Peso	2.5kg – 5.51 lbs
Dimensions (H x W x D) mm	300 x 250 x 120
Inches	11.81 x 9.84 x 4.72



## Bibliografía

- [1] Sustainable Mobility. (2011, julio 19). La historia del coche eléctrico: un largo proceso de desarrollo. Recuperado el 17 de enero de 2018, a partir de <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2011/07/19/la-historia-del-coche-electrico-un-largo-proceso-de-desarrollo/>
- [2] Equipo de pruebas autopista, & Serrano, J. (s/f). 2018, el año del coche eléctrico: toda la oferta de compra, sus ventajas y cómo funcionan [autopistas.es]. Recuperado el 21 de enero de 2018, a partir de <http://www.autopista.es/noticias-motor/articulo/2018-coches-electricos-como-funcionan-modelos-para-comprar>
- [3] Ávila Castillo, I., & Pérez López, M. A. (2016). Implementación de estaciones de carga para autos eléctricos en estacionamiento de la ESIME Zacatenco edificio 2.
- [4] Tipos de batería para coche eléctrico. (s.f.). Electromovilidad. <http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/>
- [5] Infineon. (2017). Hybrid electric and electric cars. Infineon Technologies AG. Recuperado a partir de [www.infineon.com/WhereToBuy](http://www.infineon.com/WhereToBuy)
- [6] Diseño y construcción de un vehículo eléctrico con variador de velocidad mediante convertidor DC-DC
- [7] Tipo de motores eléctricos. Disponible en: [http://www.abc.es/motor/reportajes/abci-distintos-tipos-motor-coche-electrico-y-como-funcionan-201712141513\\_noticia.html](http://www.abc.es/motor/reportajes/abci-distintos-tipos-motor-coche-electrico-y-como-funcionan-201712141513_noticia.html)
- [8] Gil, S., & Prieto, R. (2013). Los autos eléctricos: ¿hacia un transporte más sustentable? Petrotecnia.
- [9] Sebastian Aznar, A. (2017). Nuevo uso para gasolineras tradicionales: "Electrolineras" para escúteres en Barcelona (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).]
- [10] International Electrotechnical Commission, & Commission electrotechnique internationale. (2017). Electric vehicle conductive charging system. Part 1, Partie 1, Part 1, Partie 1, Geneva: International Electrotechnical Commission.
- [11] Tipo de recargas para vehículos eléctricos. Disponible en: <http://www.recargacocheselectricos.com/tipos-conectores-vehiculos-electricos/>
- [12] Tipo de conectores para vehículos eléctricos. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/tipos-de-conectores-tipos-de-recarga-y-modos-de-carga>
- [13] Francfort, J. (2010). Electric vehicle charging levels and requirements overview. Clean Cities December.
- [14] Torres Sarmiento, J. D. (2015). Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca (Bachelor's thesis).
- [15] Normativa y estándares para vehículos eléctricos. Disponible en: <http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:5:0>

- [16] Modos de recarga de baterías para vehículos eléctricos. Disponible en: <https://www.lugenergy.com/recarga-coche-moto-electrica/tipos-de-recarga-vehiculos-electricos/>
- [17] Alvarado Goya, S. A. (2017). Estudio de factibilidad para la implementación de electrolineras en el Distrito Metropolitano de Quito (Bachelor's thesis, QUITO/UIDE/2017)
- [18] Asociación Española de Normalización y Certificación, 2012c, pág 23
- [19] Botsford, C., & Szczepanek, A. (2009, May). Fast charging vs. slow charging: Pros and cons for the new age of electric vehicles. In International Battery Hybrid Fuel Cell Electric Vehicle Symposium.
- [20] Especificaciones técnicas del sensor de tensión. Disponible en: <http://www.mouser.com/ds/2/149/MID400-68116.pdf>
- [21] Especificaciones técnicas del sensor de corriente. Disponible en: <http://www.crmagnetics.com/Assets/ProductPDFs/CR8400%20Series.pdf>
- [22] (20 Enero 2018). Battery Management Systems (BMS). Available: <http://www.mpoweruk.com/bms.htm>
- [23] Mathoy, A. (2008). Definition and implementation of a global EV charging infrastructure. PDF). BRUSA Elektronik." SAE J1772-SAE Electric Vehicle Conductive Charger Coupler.
- [24] Mathoy, A. (2008). Definition and implementation of a global EV charging infrastructure. PDF). BRUSA Elektronik." SAE J1772-SAE Electric Vehicle Conductive Charger Coupler.
- [25] Alvarado, G. P. (2009). Diseño y construcción de un vehículo eléctrico con variador de velocidad mediante un convertidor CD-CD. Unversidad Tecnológica de la Mixteca
- [26] Kissel, G. (2010). IEEE: SAE J1772 Update For IEEE Standard 1809 Guide for Electric-Sourced Transportation Infrastructure Meeting. In IEEE Meeting Notes
- [27] Jar, B., Watson, N., & Miller, A. (2016). Rapid EV Chargers: Implementation of a Charger.
- [28] París, A. P. (2003). Relés electromagnéticos y electrónicos. Parte I: relés y contactores. Vivat Academia, (50), 1-24
- [29] Apuntes técnicos sobre relés y sus características. Disponible en: <http://platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>
- [30] PACHECO LOPEZ, J. L. (2014). CONSTRUCCION DE UN EQUIPO ELECTRICO-DIDACTICO PARA LA SIMULACION DEL CONTROL DE UN INVERNADERO.
- [31] Especificaciones técnicas del Relé. Disponible en: [http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data%20Sheet%7F1308242\\_T92%7F1112%7Fpdf%7FEnglish%7FENG\\_DS\\_1308242\\_T92\\_1112.pdf](http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data%20Sheet%7F1308242_T92%7F1112%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_1308242_T92_1112.pdf)
- [32] Flash, E. (2007). 28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology.
- [33] Rashid, M. H. (2004). Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones. Pearson Educación

- [34] Huircán, J. (2012). Reguladores de voltaje
- [35] Yokomizo, I., Horiuchi, S., & Matsumae, M. (2002). U.S. Patent No. 6,400,211. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [36] Coughlin, R. F., & Driscoll, F. F. (1999). Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales. Pearson Educación
- [37] Especificaciones acerca de vehículos eléctricos. Disponible en: <http://www.openevse.com/>
- [38] Internet de las cosas, lot. A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications (Weber, 2010). Disponible en: <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- [39] Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari, & Ayyash, 2015
- [40] Evans, D. (2011). Internet de las cosas. Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo. Cisco Internet Business Solutions Group-IBSG, 11(1), 4–11
- [41] Ortiz, L., & Nelson, R. (2017). Internet de las cosas.
- [42] “En 2018 el acceso a Internet se realizará a través del móvil”, 2015.
- [43] Cicileo, G. (2014, noviembre). Agotamiento de IPv4. Presentado en Asociación Redes de Interconexión Universitaria.
- [44] Hernández, L. del V. (2013, febrero 21). Programar facil. Recuperado a partir de <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>
- [45] Espressif. (s/f). ESP8266 WiFi Module Quick Start Guide.pdf.
- [46] SAE J1772 - SAE Electric Vehicle Conductive Charger Coupler". August 2001. Appendix A, Typical Pilot Line Circuitry. Retrieved 2012-04-09.
- [47] <http://www.crmagnetics.com/Assets/ProductPDFs/CR8400%20Series.pdf>
- [48] Cuji Coque, D. E., & Pazmiño Moreno, D. X. (2015). Diseño e implementación de una red WSN (Wireless Sensor Network) basado en los protocolos Zigbee, Wifi y Zigbee Mesh, para el monitoreo de variables climáticas en el invernadero ubicado en el barrio Rumipamba del Navas, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación.).
- [49] Archidona, M. I. (2010). Seguridad WIFI. Agresiones posibles (Doctoral dissertation).
- [50] Chiu, S. H. (2006). Seguridad en Redes Inalámbricas 802.11. Recuperado de [http://www.ciens.ucv.ve, 8080](http://www.ciens.ucv.ve,8080).
- [51] Aizhen, W. A. N. G. (2009). Analysis of Signal Integrity in the Design of High Speed Digital PCB [J]. Modern Electronics Technique, 1, 057.
- [52] H. W. Ott, “Partitioning and Layout of a Mixed-Signal PCB,” Jun. 2001. [En línea]. Disponible: [http://www.hottconsultants.com/pdf\\_files/june2001pcd\\_mixedsignal.pdf](http://www.hottconsultants.com/pdf_files/june2001pcd_mixedsignal.pdf)
- [53] García, J. M. Fabricación de circuitos impresos. garcia-cuervo. net.

- [54] Guill, A., Lava, A., Pérez, J. A., Prosper, J., & Sansaloni, T. (1970). Vídeo sobre el montaje automatizado de placas de circuito impreso.
- [55] Primer vehículo eléctrico en la historia, Disponible en: [http://www.newton.mec.edu/brown/te/ALTERNATIVE\\_FUEL/TIMELINE/timeline.html](http://www.newton.mec.edu/brown/te/ALTERNATIVE_FUEL/TIMELINE/timeline.html)
- [56] Vehículo, Detroit Electric Car, uno de los primeros automóviles, Disponible en: <https://za.pinterest.com/pin/414471971935619267/>
- [57] vehículo eléctrico modelo tesla 100 D año 2017, Disponible en: <https://www.tesla.com/models>
- [58] Características de los tipos de vehículos, Disponible en: (Salmerón, 2012, p. 24).
- [59] Estación de carga o electrolinera, Disponible en: <https://www.instaladores20.com>
- [60] Circuito de Señalización del estándar SAE J1772, Disponible en: <http://www.mpoweruk.com/bms.htm>
- [61] Microcontrolador 18f4550, Disponible en: [https://www.tme.eu/es/details/pic18f4550-i\\_p/](https://www.tme.eu/es/details/pic18f4550-i_p/)
- [62] Modulo del integrado DS1307, Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/2PCS-lot-I2C-RTC-DS1307-AT24C32-Real-Time-Clock-Module-For-AVR-ARM-PIC/>
- [63] Crecimiento de los dispositivos conectados a internet y número de habitantes del planeta, Disponible en: <https://willisupdate.com/internet-de-las-cosas-claves/>
- [64] IoT en las ciudades, Disponible en: <https://structuredcablingnews.com/2018/02/12/webinar-strategies-and-considerations-for-connecting-intelligent-building-devices/>
- [65] Módulos Wifi de la línea ESP, Disponible en: <http://secureinstruments.blogspot.com/2015/08/clean-rom-himax-pure-3s.html>
- [66] Módulo ESP 8266-01, Disponible en: <http://www.instructables.com/id/ESP8266ESP-01-Arduino-Powered-SmartThings-Leak-Det/>